



Науки
о Земле

Ю.Г. Симонов, В.И. Кружалин

Инженерная геоморфология

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ББК 26.823
С 37
УДК 551.4

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук *В. И. Сергеев*,
доктор технических наук *И. Г. Черванев*

Федеральная целевая
программа книгоиздания
России

Симонов Ю. Г., Кружалин В. И.

С 37 Инженерная геоморфология: Учебное пособие.— М.:
Изд-во МГУ, 1993.— 208 с.: ил.
ISBN 5—211—02459—1

В учебном пособии в соответствии с программой одноименного курса, читаемого на географических факультетах, обобщен мировой и отечественный опыт инженерной оценки территории, анализа последствий антропогенного преобразования рельефа. Излагаются принципы инженерно-геоморфологического районирования и рационального природопользования.

Для студентов географических специальностей вузов.

С 1805040300(4309000000) — 004
077(02)—93 36—93

ББК 26.823

ISBN 5—211—02459—1

© Издательство Московского
университета, 1993

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс лекций по инженерной геоморфологии является частью программы специальной подготовки студентов-геоморфологов географического факультета Московского университета. В этой программе наряду с дисциплинами фундаментального характера значительное место занимают курсы прикладного цикла. Их цель — привить навыки практической работы будущим геоморфологам при решении задач, связанных с интересами народного хозяйства страны. Связь любой науки с практикой оказывается успешной лишь в том случае, когда специалист достаточно глубоко знает не только собственный предмет и методы исследования, но и понимает, как результаты его труда будут использоваться в дальнейшем при решении тех или иных практических задач. Опыт работы показывает, что очень часто заказчик-практик не знает, как можно наиболее полно использовать данные той науки, которые им привлекаются. Отсюда возникает необходимость глубокого взаимопонимания исследователями и практиками научной информации: они идут как бы навстречу друг к другу, уточняя планы научных исследований, с одной стороны, совершенствуя проекты создания тех или иных сооружений — с другой.

В своей практической работе геоморфологи обычно бывают связаны с учреждениями геологической службы, ведущими поиски полезных ископаемых (россыпей, нефти и газа, месторождений рудных и нерудных материалов), а также с проектными организациями, проводящими изыскания для обоснования проектов строительства различных сооружений. Во втором случае геоморфологические работы нередко включаются в состав инженерно-геологических исследований. Геология намного раньше начала выполнять заказы инженеров-проектировщиков и накопила существенный опыт работы с ними. На начальных этапах развития инженерная геология широко привлекала как один из методов геоморфологический анализ. Но поскольку в инженерной геологии использовались далеко не все возможности, которыми обладает геоморфология, это послужило одним из оснований для выделения инженерной геоморфологии в самостоятельную прикладную научную дисциплину. Другим не менее важным основанием для возникновения и развития инженерной геоморфологии оказался быстрый рост строительства заводов и фабрик, железных и шоссейных дорог, гидроэлектростанций,

увеличение числа городов, что в свою очередь выдвинуло на первый план задачу рационального природопользования. И научные и практические задачи, возникшие перед планирующими и управляющими органами на современной стадии развития общества, потребовали не только геологической, но и географической информации. Геоморфология — наука, как известно, занимающая пограничное положение между геологией и географией, оказалась тем связующим звеном, которое может объединить инженерно-геологические и инженерно-географические исследования, сделать их взаимосвязанными и взаимодополняющими.

Курс лекций по «Инженерной геоморфологии» выделился в самостоятельный в конце 50-х годов из курса «Прикладная геоморфология», созданного Т. В. Звонковой в конце 40-х годов. В настоящее время на кафедре читаются два отдельных курса по инженерной геоморфологии: общий и специальный, по инженерной геоморфологии речных долин и морских берегов. Такое разделение объясняется практикой выпуска специалистов на кафедре геоморфологии МГУ.

Учебное пособие по инженерно-геоморфологическим исследованиям в долинах рек и на берегах морей подготовлено С. В. Лютицау и Г. А. Сафьяновым и уже вышло из печати. Данное пособие посвящено общим вопросам инженерной геоморфологии. В нем рассмотрены методологические и теоретические основы инженерной оценки рельефа на современном этапе развития геоморфологии, что позволяет видеть в инженерной геоморфологии одну из перспективных ее направлений. Теоретически и практически оно сложилось в рамках геоморфологии и связано с ее предметом, методом исследования и научными концепциями. В рамках инженерной геоморфологии успешно развиваются морфометрический, морфолитологический (морфоиндикационный) и морфодинамический виды исследований. Как уже отмечалось, инженерная геоморфология занимает промежуточное положение между инженерной геологией и инженерной географией. В инженерной геологии геоморфология выступает как метод, а по предмету она является наукой географической, так как изучает одно из свойств ландшафтно-географической оболочки Земли.

При оценке рельефа геоморфолог должен знать особенно сты инженерной стратегии, которая в свою очередь базируется на существующих технологиях производства и на том уровне общественного сознания, который характеризует современные общественные отношения. Путь оценки рельефа, идущий от технологии производства, должен опираться на так называемый нормативный подход, в котором рельеф рассматривается с позиций строительства и эксплуатации инженерных сооружений. В частности, здесь важны оценки затрат на определенное количество строительных материалов, а иногда и их качество. В эксплуатации особенно важна оценка потерь или дополнительных затрат

энергии и соответствующих материалов, связанных с необходимостью размещать данное производство в конкретных геоморфологических условиях. Кроме того, в отдельных случаях должны проводиться специальные мероприятия для защиты тех или иных производств от нежелательных воздействий на них современных рельефообразующих процессов. В оценку рельефа должен входить учет ремонтных внеплановых работ из-за возможного проявления естественных процессов рельефообразования. Оценка рельефа в данном случае тесно связана с геоморфологическим прогнозом. По существу, геоморфолог должен руководствоваться теми требованиями, которые предъявляют технологии строительства и способы функционирования сооружений при их эксплуатации к рельефу как к особому свойству поверхности литосферы и элементу окружающей среды. Эти требования не остаются неизменными и как бы раскрывают стратегию или принципы, определяющие отношение строителей к окружающей среде. Иногда проекты полностью сохраняют, учитывают рельеф, в других случаях коренным образом изменяют его или даже создают заново. Созданный человеком антропогенный рельеф в дальнейшем может оказаться причиной шлоей цепочки изменений природы, включая непредвиденные и нежелательные.

Помимо нормативного или функционально-технологического подхода важное место занимает индикационный подход к инженерной оценке рельефа. Понятие индикация в данном учебном пособии авторами трактуется достаточно широко. Индикация — производное от латинского слова «индикатор» и переводится как указатель. Отсюда индикация понимается нами как перечисление некоторого набора признаков, указывающих на возможность отделения одного объекта (явления) от другого. Известны и требования, предъявляемые к индикации: количество признаков — индикаторов явления — должно быть минимально необходимым и достаточным по их числу. Кроме того, эти признаки должны относиться к существенным, т. е. характеризовать важнейшие черты индуцируемого явления. В инженерной геоморфологии предметом индикации могут служить разные объекты, которые будут являться предметом изучения. Нередко их исследуют не только геоморфологи, но и представители смежных наук (дисциплин). В учебном пособии показано, что предметом геоморфологической индикации, в частности, могут быть свойства рыхлых и литифицированных пород. Поэтому после раскрытия предмета геоморфологической индикации и определения ее места в инженерной геоморфологии, главное внимание обращается на характеристику горных пород. Логика изложения здесь такова: прежде чем говорить о возможности их индикации, необходимо выяснить, какие свойства горных пород могут интересовать инженеров-проектировщиков. Далее необходимо показать, что эти свойства в природе возникают закономерно и что в ходе их становления они неизбежно связаны с процессами, которые формируют не только породы, но и рельеф.

Поэтому соответствующая глава, в которой систематически излагается этот материал, написана по схеме — от свойств породы к рельефу. Предполагается, что раскрытие генетических связей между рельефом и свойствами горных пород служит базисом для отбора индикаторов. В этом заключается и необычное расширение круга вопросов, включенных нами в понятие индикационный подход. Подобный способ изложения выбран потому, что он в таком виде в учебной литературе не встречается. Геоморфологи обычно не описывают так подробно свойства горных пород, а инженеры-геологи, давая более детальные их описания, не рассматривают отношения тех или иных свойств горных пород и свойств, возникающих в ходе истории его развития. А совместный их анализ явно необходим при любых геоморфологических, а не только при инженерных исследованиях.

Нормативный и индикационный подходы не следует рассматривать как единственно возможные в инженерно-геоморфологических исследованиях. Вероятно, можно будет выделить и динамико-генетический подход, при котором в центре внимания окажутся проблемы инженерно-геоморфологической оценки областей развития инвальных, эоловых, мерзлотных и других рельефообразующих процессов. Это может явиться продолжением уже выделенной в самостоятельный учебный курс инженерной геоморфологии морских берегов и речных долин. Такого же специального инженерно-геоморфологического анализа заслуживают горные и равнинные территории, пережившие различную историю развития рельефа. Динамико-генетический подход частично реализуется нами в разделах, где изложены инженерные проблемы морфолитодинамики.

Вопросы, связанные с оценкой динамики рельефа в инженерно-геоморфологических целях, уже частично знакомы геоморфологам по курсу лекций «Динамическая геоморфология». Поэтому в данном учебном пособии этот материал излагается в сокращенном виде. Особенностью является то, что описание рельефообразующих процессов дается с позиций инженерной оценки. При этом выбраны те из процессов, анализ которых необходим для инженерно-геоморфологического заключения о возможности или невозможности строительства. Отличительной чертой этого учебного пособия является и то, что в него включен раздел, посвященный геоморфологическим прогнозам. Составление геоморфологических прогнозов можно было бы рассматривать и в составе методов геоморфологических исследований. Но в главу, посвященную оценке динамики рельефа, оно помещено потому, что авторы хотели подчеркнуть основную ее мысль: изучение всех рельефообразующих процессов не должно быть самоцелью. Оно должно проводиться таким образом, чтобы в заключение можно было бы прогнозировать геоморфологические события, опасные для нормального функционирования сооружений.

С точки зрения инженерно-геоморфологического анализа рассматриваются вопросы антропогенного рельефообразования на фоне взаимодействия природного рельефа и ландшафта в целом, а также его отдельных компонентов.

На современном этапе развития общества все большее значение приобретают задачи охраны природы и рационального природопользования. В инженерной геоморфологии в связи с этим должен получить развитие функциональный подход к оценке рельефа. Все эти вопросы нашли свое отражение в специальных разделах предлагаемого курса.

В учебном пособии кратко изложены методы инженерно-геоморфологических исследований. Авторы в этой главе хотели подчеркнуть единство общих и специальных инженерно-геоморфологических исследований. Такой подход позволил подробно не останавливаться на тех вопросах, которые достаточно полно рассматриваются в курсе лекций «Методика геоморфологических исследований». В данном тексте обращается внимание лишь на то, что важно для инженерно-геоморфологической оценки рельефа. А многие виды работ и методы исследования называются в тексте лишь для того, чтобы определить их содержание, которое необходимо для составления инженерно-геоморфологических рекомендаций.

Заключительная глава посвящена проблеме инженерно-геоморфологического районирования. В ней нет конкретного районирования территории нашей страны. Проблема только обозначается, обсуждается лишь возможность выбора тех или иных принципов районирования. В одном случае в качестве основания для районирования могут быть выбраны признаки чисто природных различий территорий — различие самого рельефа и рельефообразующих процессов. Такой подход был бы справедливым при необходимости районирования территорий, не измененных человеком. Таких территорий практически уже не осталось. А как известно, человек в ходе освоения и использования земель изменяет не только рельеф, но и ход процессов рельефообразования, в частности их интенсивность. И различные виды природопользования уже произвели не одинаковый геоморфологический эффект. При проведении геоморфологического районирования необходимо теперь учитывать не только природные, но и социальные факторы. Ведь природно-технические геоморфологические системы функционируют и по природным законам и испытывают технологическое воздействие со стороны различного рода производств, которые развиваются по социально-экономическим законам.

Учебное пособие подготовлено В. И. Кружалиным и Ю. Г. Симоновым, который выполнил и научную редакцию данного пособия. В работе над учебным пособием большую помощь оказали С. С. Воскресенский, П. А. Каплин, А. Е. Криволицкий, О. К. Леонтьев, К. К. Марков, Е. М. Сергеев. Авторы благодарят их за сделанные замечания.

Авторы выражают благодарность рецензентам данного учебного пособия — профессору В. И. Сергееву и профессору И. Г. Черваневу за высказанные замечания, а также М. П. Неклюдовой и М. Е. Турковой за большую помощь при подготовке данной рукописи к изданию.

Авторы будут благодарны за замечания. Отзывы следует присылать по адресу: 119899, Москва, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии.

1.1. МЕСТО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК О ЗЕМЛЕ

Инженерная геоморфология, как следует из ее названия, является наукой геоморфологической и, следовательно, паряду со всей геоморфологией относится к циклу географических наук, изучающих явления и события, возникающие на земной поверхности и в пространстве, прилегающем к ней. Как прикладная область знаний инженерная геоморфология занимает пограничное положение между инженерной географией и инженерной геологией. С последней она связана самым тесным образом, так как зародилась в ее недрах как метод интерполяции инженерно-геологических знаний, позволяющий вести оценку между двумя естественными обнажениями или скважинами (Саваренский, 1939). Однако свое развитие она получила в рамках географии, которая уже многие столетия ведет описание и изучение рельефа и располагает методом, позволяющим раскрыть историко-генетическую сущность рельефа. В концепциях инженерной геологии инженерная геоморфология, возникнув лишь как метод, развиваться, естественно, дальше не смогла, так как совершенствование любого метода — задача соответствующей науки. Ведь не вызывает сомнений, что математические методы не могут быть оторваны от математики, физические — от физики, химические — от химии и др.

Инженерная геология изучает земную кору как возможную среду инженерной деятельности человека; теперь даже используется понятие инженерно-геологическая среда. Инженерная геология изучает прежде всего горные породы, слагающие земную кору и их свойства; грунтовые воды — их свойства; процессы, протекающие в земной коре, в мантии и на земной поверхности. Объекты, расположенные на земной поверхности, и процессы, на ней протекающие, интересуют инженеров-геологов по разным причинам. Так, плотность человеческого воздействия на окружающую природу и разнообразие его видов возрастают приближенном к дневной поверхности литосферы, и поэтому, вполне естественно, существует сфера пересекания инженерно-геологических и инженерно-геоморфологических интересов. Но есть принципиальное различие в работе геологов и геоморфологов. Инженеры-геологи собирают информацию о том, как антропогенные процессы влияют на свойства пород, определяющих устойчивость оснований инженерных сооружений. Геоморфологи хотя те же самые явления

анализируют, но под другим углом зрения — как эти процессы влияют на рельеф земной поверхности и его устойчивость.

Инженерная география — это не вполне сформировавшаяся научная дисциплина. Чаще говорят о конструктивной географии (Герасимов, 1976), однако термин «конструктивная география» не все географы принимают (Исаченко, 1982). Но если суммировать различные мнения, то можно сказать, что инженерная география — это прикладное направление, изучающее взаимодействие инженерно-хозяйственной деятельности человека и природной среды с целью обоснования рекомендаций по оптимальному размещению природно-технических систем и повышению эффективности природопользования.

Инженерные сооружения чаще всего возводятся в производственных или транспортных целях, а также в целях жилищного, социального и культурного строительства. Несомненно, в ближайшем будущем возникнет и уже возникает необходимость в средствах инженерной защиты окружающей человека среды. Все вопросы размещения объектов инженерной деятельности человека связаны, таким образом, с развитием территориально-производственных комплексов. Обоснование размещения и прогноз развития этих комплексов осуществляются экономической географией. Поэтому при разработке рекомендаций по строительству специалисты по инженерной географии должны опираться на результаты экономико-географических исследований. Физическая география, занимаясь исследованиями тех или иных территорий, сейчас уже не может не замечать, что различные физико-географические условия накладывают отпечаток не только на условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений, но и влияют определенным образом на выбор технологий тех или иных видов производства. Известно и обратное влияние — воздействие производства на окружающую среду. В силу этого неизбежно возникнут инженерно-географические концепции и специальные методы исследования. Наиболее быстрое их развитие, вероятно, следует ожидать в связи с решением географических проблем рационального природопользования.

Геоморфология входит в систему физико-географических наук. Инженерная геоморфология — это одно из прикладных ее направлений — изучает рельеф и рельефообразующие процессы для оптимизации инженерно-хозяйственной деятельности человека.

1.2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАУЧНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

Оценки условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений складываются из определения происхождения и возраста рельефа, которые затем анализируются с точки зрения устойчивости территории, а также влияния тех современных

рельефобразующих процессов, которые особенно быстро изменяют морфологический облик территории. Принято считать, что рельеф — достаточно устойчивый элемент географической среды. Действительно, многие его черты практически не изменяются в течение тысячелетий, но некоторые рельефообразующие процессы протекают столь быстро, что за весьма короткий промежуток времени происходят существенные изменения рельефа. Таковы обвалы, осыпи, провалы, сели и все то, что мы называем катастрофическими явлениями. Оценка устойчивости рельефа — это одно из условий определения целесообразности размещения и эксплуатации инженерного сооружения.

Информация о происхождении и возрасте рельефа, к которой прежде всего обращается геоморфолог, помогает определить изменчивость процессов рельефообразования. Так, например, изучая склоны разного происхождения, геоморфолог с высокой степенью точности может дать заключение о тех процессах, которые их сформировали. В рельефе хорошо различаются обвальные, осыпные, оползневые, делювиальные, солифлюкционные и другие склоны. Их устойчивость различна. В ходе геоморфологического анализа нетрудно разделить курумовые и осыпные склоны и тем самым выявить относительно спокойные и опасные места возможного строительства сооружений. Если наряду с происхождением установлен и возраст рельефа, то это может уточнить представления об устойчивости территории и сделать их более достоверными, так как древние формы рельефа по большей части по сравнению с относительно более молодыми оказываются и более устойчивыми. Однако это далеко не всегда, и для окончательного суждения необходимы специальные исследования.

Изучая рельеф, его происхождение, возраст и современные рельефообразующие процессы, инженерная геоморфология определяет геоморфологические условия строительства и эксплуатации сооружений. Когда мы говорим об условиях, то прежде всего имеем в виду определенную систему «рельеф — инженерное сооружение». При этом если инженерный комплекс рассматривать как подсистему сложной системы, функционирующую по своим собственным законам, то рельеф и рельефообразующие процессы можно рассматривать как внешнее условие его существования. Условия (в данном случае рельеф) воздействуют на сооружения различно. Так, например, если мы имеем территорию с расчлененным рельефом, то его необходимо приспособить (видоизменить, создать заново) к необходимой технологии производства, к его функционированию. Если это по какой-либо причине невозможно, то изменяется технология, приспособляясь к рельефу. Если этого не сделать, то предприятие неизбежно будет нести определенные убытки, дополнительные затраты: на транспортировку сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; на водоснабжение или канализацию; на создание нормальных условий труда или жизни населения. При строительстве рельеф нередко

планируют (выравнивают). Поэтому морфометрические свойства исходного рельефа в известной мере определяют дополнительные объемы земляных работ. Иногда удорожание строительства связано (из-за больших перепадов высот и уклонов местности) с использованием более прочных и поэтому более дорогих материалов или конструкций. При массовом строительстве возведение сооружений обычно ведется по типовым проектам с использованием типовых конструкций. Тогда недоучет особенностей рельефа может вылиться лишь в процессе эксплуатации сооружений, и сверхнормативные затраты труда будут уже связаны с ремонтом зданий и оборудования.

Нередко для характеристики геоморфологических условий при инженерной оценке местности требуются специальные геоморфологические исследования, включая стационарные наблюдения. При этом следует помнить, что в рельефе земной поверхности выделяются три области, оценка которых, если в них видеть будущие геоморфологические условия строительства и функционирования сооружений, должна проводиться с учетом их особенностей. Это области сноса (области денудационного рельефа), области транзита (переноса вещества рельефообразующими процессами) и области аккумуляции (области формирования аккумулятивного рельефа). Их различия очевидны, но в данном контексте следует подчеркнуть особенности их взаимодействия в системе «геоморфологические условия — инженерное сооружение». В областях сноса изменение рельефа ставит под угрозу существование фундаментов сооружений, так как разрушает их в первую очередь. В области транзита рельеф, как правило, не изменяется и при непрофессиональном анализе может казаться достаточно устойчивым и надежным. Связанные с экзогенным рельефообразованием литопотоки могут воздействовать не только на инженерные объекты, но и на технологию производства, если они окажутся на пути схода лавины, переноса песка ветром и др. И наконец, области аккумуляции, в которых накопление толщ рыхлых отложений и изменение аккумулятивного рельефа могут стать причиной погребения тех или иных частей сооружений.

Оценка рельефа и геоморфологических условий никогда не может быть проведена в общем виде. Она должна быть целенаправленной и будет эффективна лишь при учете особенностей технологии проектируемых объектов. Может быть так, что для строительства дорог, жилья, подземных коммуникаций или других сооружений на одной и той же территории эта оценка окажется неодинаковой.

Геоморфологическая оценка местности — это своеобразное разрешение, выданное геоморфологами строителям на возведение сооружений. Кроме того, в оценке должны быть даны рекомендации и для создания средств защиты проектируемых объектов от нежелательных воздействий рельефообразующих процессов. Таким образом, геоморфологическая оценка должна вклю-

чать не только описание морфологии рельефа, его происхождение и возраст, но и содержать элементы прогноза изменения рельефа на период строительства и эксплуатации сооружений, рекомендации по управлению нежелательными геоморфологическими процессами как на строительной площадке, так и в прилегающей к ней местности, а также мероприятия по защите сооружений.

Такие специальные рекомендации должны разрабатываться по крайней мере в ходе подготовки материалов на ранних стадиях проектирования. Не исключено, что подобная инженерно-геоморфологическая оценка должна существовать уже на предпроектной стадии и входить как составная часть в геоморфологическую экспертизу.

Современной инженерной геоморфологией накоплен определенный опыт специальных инженерно-геоморфологических исследований. Интерес к этим работам со стороны практики особенно заметно возрос в связи с внедрением в изыскательские работы дистанционных материалов: разновременных черно-белых аэрофотоснимков, цветных и спектрзональных фотоизображений, космических снимков и спектрометрических материалов. Дешифрирование дистанционных материалов открыло большие возможности для совершенствования полевых исследований. В инженерной геологии получил распространение ландшафтно-индикационные исследования (Викторов, 1976; Востокова, 1977; Гудалин, 1976; Ревзон, 1975, 1976, 1977; Садов, 1969, 1972, 1977; Садов, Ревзон, 1979; Проблемы..., 1987; и др.). Стимулировали развитие инженерной геоморфологии и исследования, связанные с рекультивацией земель и изысканиями для новых городов. Теперь уже можно не сомневаться в том, что инженерно-геоморфологические исследования прочно вошли в практику изысканий. Не вызывает сомнений, что по аэрофото- и космическим материалам исследователь может наблюдать не только гидросеть, рельеф, почвы и плодородность, особенности геологического строения территории и выходы грунтовых вод, но получать и иную полезную для инженеров-проектировщиков информацию. Так, например, повторные снимки и их дешифрирование позволяют установить динамику рельефообразующих процессов. А если дешифрирование дистанционных материалов проводить, подкрепляя их детальными геоморфологическими исследованиями на тестовых участках, и использовать при этом разномасштабные (в том числе и крупномасштабные) снимки, можно быстро, точно и дешево получать практически все сведения, необходимые для инженерного освоения территории. Индикационные исследования из года в год совершенствуются вместе с расширением знаний о сути взаимосвязей между рельефом и геологическим строением, с одной стороны, рельефом и ландшафтами — с другой, и их роль в инженерно-геоморфологических исследованиях заметно увеличивается. Параллельно совершен-

ствуется и теоретическая база инженерной геоморфологии.

Основные положения современной инженерной геоморфологии были изложены в монографии Т. В. Звонковой (1959), а затем в учебном пособии по прикладной геоморфологии (Звонкова, 1970). Этому автору принадлежит и сам термин «инженерная геоморфология» (ранее в среде инженеров-геологов в том же смысле употреблялся термин «прикладная геоморфология»). Концепцию Т. В. Звонковой можно изложить в виде восьми основных положений.

1. При изучении рельефа для инженерной оценки местности прежде всего необходимо установить взаимные связи между рельефом и инженерными сооружениями.

2. Инженерное сооружение, попадая в природную обстановку после ввода его в эксплуатацию, само начинает оказывать влияние на окружающий ландшафт.

3. Решающими факторами, определяющими характер действия природной обстановки на инженерное сооружение, оказываются рельеф, грунты и климат.

4. При оценке рельефа как одного из условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений в качестве критерия оценки должны быть приняты показатели, определяющие зависимость стоимости строительства и эксплуатации инженерных сооружений от тех или иных свойств рельефа.

5. Наиболее благоприятными следует признать такие условия, которые обеспечивают гармоничное сочетание ведущих природных факторов и технических условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Дисгармония вызывает увеличение расходов на строительство и эксплуатацию. При дисгармонии в ходе строительства человек вынужден создавать искусственный рельеф.

6. Важнейшей проблемой инженерной оценки рельефа является изучение инженерных свойств природных процессов — процессов образования оврагов, оползней, карста и других, которые в динамической геологии называются физико-геологическими, в инженерной геологии — инженерно-геологическими, в географии — экзогенными процессами.

7. Наряду с инженерно-геологической устойчивостью территории следует изучать устойчивость различных генетических и морфологических типов рельефа. Прежде всего необходимо оценивать устойчивость склонов. На основании изучения устойчивости рельефа можно судить об инженерных свойствах грунта.

8. Необходима система экономических оценок геоморфологических условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

В своей монографии Т. В. Звонкова приводит конкретные нормативные данные и проводит анализ отдельных оценок рельефа при проектировании дорог, гидротехнических сооруже-

ний, проектировании портов, трубопроводов, а также в градостроительных целях.

После монографии Т. В. Звонковой в течение свыше двадцати лет крупных работ по инженерной геоморфологии не появлялось. И лишь в 80-х годах А. Т. Левадниук (1983) обосновал принципы регионального инженерно-геоморфологического анализа, предложил концепцию инженерно-геоморфологического картографирования. Возможность решения проблем региональной инженерной геоморфологии показывается им на контрастных примерах в Каракумах и Молдавии.

А. Л. Ревзон (1984) разрабатывал методические проблемы данного научного направления. Им разработана теория использования космических снимков для решения инженерно-геоморфологических задач (космоиндикационный анализ).

Кроме перечисленных следует назвать два учебных пособия, одно из которых принадлежит преподавателю Киевского университета Э. Г. Палиенко (1978), а другое — двум преподавателям Московского университета, о которых упоминалось выше, — С. В. Лютцау и Г. А. Сафьянову (1983).

Все это позволяет утверждать, что в последнее десятилетие инженерная геоморфология развивается достаточно быстро. Особое значение для развития ее теоретической базы имеют индикаторные исследования. Последние укрепляют ее связи с ландшафтоведением и являются свидетельством того, что она все больше увязывается с инженерной географией, хотя в практических исследованиях инженерная геоморфология остается тесно связанной с решением задач инженерной геологии. Правда, и в инженерной геологии значение анализа рельефа за последние годы возросло. Так, если на ранних этапах развития инженерной геологии (в 30—40-х годах нашего столетия) анализ рельефа помогал инженерам-геологам интерполировать данные естественных разрезов и геологических выработок, то теперь предварительное дешифрирование материалов аэрокосмических съемок позволяет планировать дорогостоящие полевые исследования и камерально получать ценную информацию, интересующую инженеров-строителей.

1.3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

Инженерная геоморфология, являясь прикладной ветвью геоморфологии, имеет общие с ней предмет, научную концепцию и методы исследования. Геоморфология выступает в качестве ее научно-теоретического базиса. Вместе с тем есть и некоторые отличия. Последние важны, так как способствуют дальнейшему развитию общей теории нашей науки. Инженерная геоморфология изучает рельеф земной поверхности — внешней поверхности литосферы Земли. Понимая под рельефом совокупность шероховатостей земной поверхности, геоморфология исходит из того, что эти неровности не остаются неизменными, а преобразу-

ются под воздействием эндогенных и экзогенных сил. При этом в качестве главной своей задачи геоморфология видит объяснение происхождения рельефа и истории его развития. Естественно, это делается для того, чтобы предвидеть пути дальнейшего развития рельефа и, если это возможно, управлять современными рельефообразующими процессами. То, что для геоморфологии является конечной целью, для инженерной ее ветви служит основной практической деятельностью. Инженерно-геоморфологическая оценка местности для конкретного вида инженерного освоения, естественно, должна опираться на историко-генетический анализ. Однако в неявном виде она содержит в себе и прогноз, так как, давая положительное заключение о возможности строительства, инженер-геоморфолог исходит как бы из того, что в будущем с инженерными сооружениями под воздействием текущих рельефообразующих процессов ничего нежелательного не произойдет; он выбирает устойчивые стабильные участки рельефа земной поверхности. В другой ситуации геоморфолог предупреждает о тех или иных разрушительных процессах. То есть и в этом случае дается геоморфологический прогноз.

Геоморфологический прогноз в оценочных работах присутствует в неявном виде, скорее он похож на предупреждение. Так, выделяя пойму и утверждая, что избранный участок принадлежит пойме (или не принадлежит ей) и что на ней не следует (или следует) строить объекты без сооружения средств защиты, геоморфолог по существу прогнозирует только возможность затопления территории. В таком заключении прогноз звучит неявно. Чтобы сделать его явным, нужно определить сроки, частоту и характер затопления. А для этого нужны гидролого-геоморфологические наблюдения, которые ведет уже инженер-геоморфолог. На этом примере можно видеть, что инженерно-геоморфологические исследования выявили необходимость составления специальных геоморфологических прогнозов, теория которых в настоящее время отсутствует. Так практика обогащает теорию. Создание и совершенствование теории инженерной геоморфологии являются ее первой и важной методологической проблемой.

Практически инженерно-геоморфологические исследования чаще бывают направлены на установление ареалов проявления интенсивно протекающих современных экзогенных рельефообразующих процессов: катастрофических паводков, обвалов, оползней, карстовых провалов, размывов берегов и др. Значительно реже инженерно-геоморфологическая оценка дается в связи с деятельностью катастрофических эндогенных процессов: вулканизма и землетрясений. Вместе с тем историко-генетический анализ уже давно показал огромные возможности выявления геологических структур и тенденций их развития с помощью геоморфологических методов. Так родилась структурная геоморфология — одно из быстро развивающихся научных направлений. Структурно-геоморфологические исследования в инженерной

оценка территорий еще достаточно редки. Хотя многие вопросы, связанные с оценкой устойчивости и трещиноватости горных массивов, с установлением на глубине повышенной обводненности, напряженности недр и возможности проявления горных ударов, можно было бы проводить на базе специальных геоморфологических работ. Это могло бы стать предметом исследований нового направления инженерной геоморфологии. Научное обоснование необходимости его создания является второй крупной методологической проблемой инженерной геоморфологии.

Опыт проведения работ по инженерной оценке территорий показывает, что специалистов, ведущих проектирование сооружений, чаще всего интересуют геометрия рельефа, строение недр и активно протекающие рельефообразующие процессы. Отсюда можно говорить о морфометрическом, морфологическом и морфодинамическом направлениях в инженерной геоморфологии.

Геометрия рельефа строителей и инженеров, эксплуатирующих построенные объекты (заводы, дороги, мосты, жилые здания и др.), интересует с нескольких точек зрения. Во-первых, естественный рельеф может отличаться от технологического, и тем самым возрастут дополнительные затраты по выравниванию (вертикальной планировке). Во-вторых, наличие значительных перепадов высот, уклонов склонов обуславливает отклонения от стандартных проектов, технологий, удорожает строительство за счет необходимости использования более прочных материалов и деталей (особых марок бетона, высокопрочных водопроводных труб, выдерживающих большие гидростатические давления, более прочных труб для создания коллекторов при канализации территории и т. п.). В-третьих, крутизна и экспозиция склонов, изолированность котловин и некоторые другие свойства рельефа оказывают большое влияние на микроклимат территории, изменение которого в ходе строительства может ухудшить условия труда и жизни на вновь отстроенных предприятиях и в жилых массивах.

Свойства горных пород и геологическое строение детально изучаются инженерами-геологами. При этом их главное внимание направлено на оценку свойств пород для определения устойчивости оснований (фундаментов) сооружений. Изучаются эти свойства в ходе исследований горных пород в естественных обнажениях и горных выработках. Для интерполяции данных геологи обычно используют геоморфологический метод. В этом анализе нетрудно видеть сопряженное исследование рельефа и геологического строения. Естественно, что такой анализ с успехом могут проводить и геоморфологи. Особенно здесь полезна совместная работа геологов и геоморфологов. При этом геоморфологические исследования не заменяют геологических. Они дополняют их современным знанием законов формирования рельефа. Важно подчеркнуть и обратную связь. В ходе практи-

ческих работ в инженерной геологии накоплены ценные сведения о свойствах рыхлых и литифицированных пород. Выделилась самостоятельная научная дисциплина — грунтоведение. Эти знания необходимы и геоморфологам, особенно в связи с развитием таких отраслей нашей науки, как морфолитоология и морфолитодинамика.

Активно протекающие рельефообразующие процессы давно привлекают к себе внимание геологов, геоморфологов и географов широкого профиля. В смежных науках одни и те же процессы называются по-разному: современные геологические, инженерно-геологические, современные рельефообразующие процессы. Это связано с тем, что изучаются они для различных целей. Геологи изучают генезис горных пород, геоморфологи — историю формирования современного рельефа. Близки методы и результаты исследования. Однако геоморфология, раскрывающая историю развития рельефа (особенно последние ее этапы), обладает некоторыми специальными знаниями в этой области, которые используются для инженерно-геоморфологических оценок территории.

Все три направления активно развиваются. Однако практическое обобщение уже накопленных материалов и знаний происходит медленно. Создание научной базы этих направлений и составляет третью важнейшую методологическую проблему инженерной геоморфологии.

И наконец, существует еще одна важная проблема инженерной геоморфологии — проблема организационная, охватывающая подготовку специалистов. В настоящее время специалистов по инженерной геоморфологии готовят на кафедрах геоморфологии ряда университетов, где читают всего лишь один-два специальных курса общим объемом менее 100 ч. Практические занятия по этой специализации отсутствуют. Предполагается, что специалисты этого профиля обучаются на базе общей геоморфологической подготовки и последующей практической работы. Однако медленные темпы в создании кандидатских и докторских диссертаций по этой проблематике, малое число публикаций свидетельствуют о том, что необходимы некоторые дополнительные организационные условия для того, чтобы зажила полнокровной жизнью эта важная в практическом отношении ветвь геоморфологии.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ (НОРМАТИВНЫЙ) ПОДХОД К ИНЖЕНЕРНОЙ ОЦЕНКЕ РЕЛЬЕФА

2.1. ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ОЦЕНОК

Инженерные сооружения выполняют самые различные функции, отличаются значительным разнообразием, характеризуются разной степенью сложности и обычно возводятся на различные, но строго определенные сроки в соответствии с их назначением. Наряду с относительно простыми постройками временного характера, выполняющими подсобную роль, существуют дорогостоящие чрезвычайно сложные сооружения, призванные стоять века. Эти сложные сооружения требуют больших затрат, и перед строительством их тщательно проектируют. При этом стремятся обеспечить оптимальные условия строительства и эксплуатации. В последнее время особое внимание уделяется вопросам взаимодействия инженерного сооружения и окружающей его среды. При проектировании инженерных сооружений определяется набор мероприятий, уменьшающих вероятность проявления нежелательных последствий строительства и функционирования инженерного объекта.

Современное состояние науки и техники позволяет проектировать и строить достаточно сложное и надежное сооружение даже в самых неблагоприятных условиях. Для этого необходимо искусственно создать условия, обеспечивающие строительство и функционирование сооружения. Но и в этих случаях нужно тщательно изучать природные условия места возведения планируемого объекта. Еще большая необходимость в таком изучении природных условий имеется при массовом строительстве стандартных сооружений, когда требуется строить быстро, экономично и удобно.

Каждое инженерное сооружение имеет определенное назначение и собственную конструкцию. Вполне понятно, что жилой дом отличается от железнодорожного моста: каждый из объектов проектируется отдельно и по-разному. Но, как правило, они существуют не изолированно друг от друга, а образуют систему совместно функционирующих инженерных сооружений. Такая система предъявляет более жесткие требования к природным особенностям места строительства, так как некоторый лимит у одной из конструкций (одного элемента системы), совершенно необязательный для другого, все же лимитирует возведение всей системы как целого.

Самыми сложными инженерными сооружениями являются современные крупные города с их промышленностью, жильем,

транспортом и зонами отдыха. В них переплетаются множество технологий. Они растут и совершенствуются. Возникают сложные технологические, экономические, медицинские и эстетические проблемы сохранения их индивидуальных черт. О городе написал вдохновенные слова один из выдающихся архитекторов XX в. Ле Корбюзье: «Город! Это символ борьбы человека с природой, символ его победы над ней. Это рукотворный организм, призванный защищать человека и создавать ему условия для работы. Это плод человеческого творчества»¹.

Здесь хотелось бы обратить внимание читателя на убеждение Ле Корбюзье в том, что «город — символ победы человека над природой». Это архитектурное кредо талантливого человека, одного из основоположников строго определенной стратегии поведения человека при градостроительстве. Может быть, именно здесь следует вспомнить предупреждение Ф. Энгельса от такого волюнтаристского отношения к природе: «...на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»². И далее: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую очередь и в третью очередь — совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых»³.

2.2. ГЛАВНЫЕ СТРАТЕГИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЛЬЕФА

В работе Ле Корбюзье намечается одна из стратегий в отношении человека к природе при строительстве инженерных сооружений. Эту стратегию можно назвать технико-кратической. Ее цель — изменить природу (в том числе и рельеф), подчинить ее требованиям технологии, создать искусственную природную среду. Естественно поставить вопрос о том, существует ли иная стратегия строителей по отношению к природе? И ответ на этот вопрос положителен. Да, существует. И даже более того, она существует много лет; это так называемая историко-социальная стратегия, которая является доминирующей в течение многих тысячелетий (города, как известно, возникли еще в глубокой древности, в III—I тысячелетии до нашей эры).

¹ Ле Корбюзье. Архитектура XX века. М., 1970. С. 25.

² Энгельс Ф. Диалектика природы. М., 1975. С. 153—154.

³ Там же. С. 153.

Только XX в. с его бурным развитием техники и градостроительства позволил Ле Корбюзье выдвинуть его смелую гипотезу. Утверждая ее как нечто новое, он специально противопоставляет ей старую концепцию. Именно необходимость утверждения нового заставила написать его пламенные и одновременно злые слова. Старую архитектуру городов он называет «дорогой ослов» и противопоставляет ей «дорогу людей». Он пишет: «Человек идет прямо, потому что у него есть цель, он знает, куда идет. Избран цель, он идет к ней, не оврачивая. Осел идет зигзагами, ступает лениво, рассеянно; он петляет, обходя крупные камни, избегая крутых откосов, отыскивая тень; он старается как можно меньше затруднить себя»¹.

И далее: «Планы всех городов нашего континента, в том числе — увы! — и Парижа, начертаны ослом. Люди понемногу заселяли Землю, и по земле кое-как, с грехом пополам тащились повозки. Они двигались, минуя рвы и колдобины, камни и болота; даже ручей оказывался на их пути большим препятствием. Так возникли тропы и дороги. На перекрестках дорог, на берегах водоемов были построены первые хижины, первые дома, появились первые укрепленные поселения. Дома выстраивались вдоль дорог и троп, проторенных ослами. Поселение обносили укрепленной стеной, а в центре возводили здание городского управления. Дороги, проложенные ослами, были узаконены, ухожены, обжиты и пользовались всеобщим уважением. Пять веков спустя был возведен второй пояс укреплений, потом третий, еще более обширный. В тех местах, где дороги, начертанные ослами, выходили за пределы города, строили городские ворота; на заставах стали взимать въездные пошлины. Города, укрепленные лучше других, становились столицами. Париж, Рим, Стамбул были построены на перекрестках дорог, проторенных копытами ослов»².

И так далее. И весь этот сарказм ради вдохновенного воспевания рационального единения технологии и архитектуры. Судите сами: «Кривая улица — это дорога ослов, прямая улица — дорога людей. Кривая улица есть результат прихоти, нерадения, беспечности, лени, животного начала. Прямая улица — результат напряжения, деятельности, инициативы, самоконтроля. Она полна разума и благородства. Народы, общества, города, склонные к беспечности, небрежению, подверженные лени и праздности, быстро сходят со сцены. Их побеждают и ассимилируют другие народы, более деятельные и организованные. Именно так умирают города, и на смену одним империям приходят другие»³.

Проклятие прошлому и безнадежность будущего, — вот лейтмотив отрицания кривых линий, выдвинутый Ле Корбюзье:

¹ Ле Корбюзье. Архитектура XX века. С. 28.

² Там же. С. 29.

³ Там же. С. 32.

В 1922 г. Ле Корбюзье разработал план современного города с трехмиллионным населением. В этом проекте существуют: 1) город-центр с его деловыми кварталами и жилыми районами (здесь живут горожане); 2) промышленный город и город-сад.

Первый, город-центр, правильно спланированный, плотно заселенный, сконцентрированный на небольшой территории, деятельный и эффективный. Второй, по мнению Ле Корбюзье, обширный, гибкий и эластичный город с пригородным поясом. Между ними защитная и резервная зона: пространство, покрытое лесом и лугами, зона чистого воздуха (Ле Корбюзье, 1970). Вот несколько ракурсов такого города. Всмотритесь внимательно и Вы увидите, что 60 лет назад Ле Корбюзье явно предугадал многие черты современного градостроительства. В какой-то мере заложил основы современного градостроительства, продолженные и улучшенные архитекторами — нашими современниками.

Но вернемся к «дороге ослов». Так ли там, в той стратегии использования особенностей природы все безнадежно плохо. И мы думаем, что найдется много сторонников иной точки зрения, иных взглядов на архитектуру городов прошлого. Скажите, кому из Вас, если Вам довелось коснуться сокровищниц архитектуры прошлого, не приходилось изумляться великому дару зодчих видеть, чувствовать и постигать природу? Порой приходится только поражаться тому, как, не зная ни геологии, ни геоморфологии, строителям храмов, дворцов, монастырей — наиболее сложных инженерных сооружений прошлого, удавалось выбирать место так, чтобы они сквозь столетия и тысячелетия дошли до нас и вызвали восхищение не только гармонией силуэтов и линий, но и глубоким пониманием существа природы. Нет, не врага они в ней видели, а доброго и надежного союзника. И не побеждать природу стремились эти умные, часто неизвестные нам строители, а старались сохранить ее для людей. Так можно ли говорить, что шли они дорогой ослов? И не уподобляются ли ослам те люди, которые не хотят вписывать инженерные сооружения в природу, создавать гармонию технологических и естественных начал в городах будущего.

Инженерная геоморфология — наука природоведческая, поставленная на службу создателям технологам и инженерам. А потому в данном курсе проводится мысль о целесообразности еще одной — третьей стратегии рационального природопользования. При создании комплексов инженерных сооружений нужно стремиться строить так, чтобы минимально нарушать структуру природного ландшафта, а «исправляя» природу, необходимо бороться с причинами, вызывающими «нежелательные» для технологии последствия, а не со следствиями, и помнить, что любящая дисгармония, вызванная вмешательством человека в природу, рано или поздно потребует средств для борьбы с непредвиденными нежелательными последствиями хозяйственной деятельности человека.

Изучая опыт современного градостроительства, можно видеть, что во многих случаях идет поиск разумного сочетания принципов, идущих от технологии, и принципов, идущих от природы. В данном разделе курса мы пойдем по пути от технологии к оценке природы. В современной технике многое уже определено. Человечество стремится стандартизировать многие узлы инженерных сооружений. Это необходимо прежде всего для индустриализации их выпуска. Технологи и конструкторы создают свои объекты на типовых узлах, выпускаемых нашей промышленностью. Возникает необходимость и нам, природоведам, рассмотреть особенности и свойства территории под углом зрения некоторых стандартов, утвержденных технологиями. Отсюда и главный вывод — при выборе критериев инженерно-геоморфологических оценок территории нужно руководствоваться функционально-технологическими нормами строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Для того чтобы нам научиться создавать такие оценки, необходимо некоторый новый угол зрения на привычный для нас объект исследования. Известно, что современный рельеф характеризуется морфометрией, происхождением, возрастом. Принято считать, что две территории, рельеф которых имеет одинаковый возраст и происхождение (схожее сочетание эндогенных, экзогенных и эндолитогенных факторов рельефообразования), обладают одинаковым внешним обликом, который описывается с помощью выделения в рельефе его элементов и отдельных его форм: размеров — высоты, ширины, длины; углов наклона поверхности и др. Приведем несколько примеров.

Пример первый. Расчлененный рельеф очень часто является помехой для реализации некоторых технологий. Поэтому строительную площадку выравнивают («уничтожают» рельеф). Пригодность той или иной территории в этом случае определяется объемом работ по выравниванию территории (по вертикальной ее планировке): чем расчлененнее рельеф, тем больше объем необходимых работ. Расчлененность рельефа можно характеризовать, оценивая глубину расчленения, густоту расчленения и др. Для строителей и технологов достаточно, если для этих целей будут проведены не глубина и густота расчленения, а объем земляных работ, необходимых для выравнивания рельефа. Красным цветом на топооснове прорабатывается (показывается) рельеф территории застройки после проведения планировочных работ (работ по вертикальной планировке). Для геоморфолога важно найти свои «красные линии», отделяющие положительные и отрицательные формы рельефа разных объемов. Если они известны, тогда легко подсчитать объем породы, который нужно переместить для выравнивания (рис. 1): линия АВ считается красной, если справедливо $V_1 + V_2 = V_3$.

Работая над проблемой проведения красной линии, геоморфолог неизбежно должен думать о происхождении рельефа, так как выравнивание положительных элементов рельефа, которые



Рис. 1. Определение красной линии. Объемы перемещаемых пород: V_1 и V_2 — изымаемые; V_3 — насыпные

образованы расчленением аккумулятивных и денудационных форм рельефа, требует различных затрат. Эти различия в конечном счете определяют общий объем затрат по вертикальной планировке территории. Знание технологии и запросов строительства (в данном случае знание необходимости выравнивания рельефа и способов его проведения) способствует выработке оценок рельефа на основании технологических норм. Такой анализ рельефа в инженерной геоморфологии можно было бы назвать нормативным.

Пример второй. В ряде случаев выравнивать территорию не нужно, так как, следуя технологии, полезно сохранить некоторый рельеф или даже его создать. Так, известно, что при канализации ливневых вод на поверхностях с малым уклоном требуются трубы большого диаметра. На их изготовление уходит большое количество материала, и они тем дороже, чем больший имеют диаметр. И чрезмерная уплощенность рельефа, отсутствие уклонов вызывают удорожание строительства. Чрезмерно большие уклоны для канализации неудобны, так как взвешенные и влекомые наносы осуществляют своеобразную эрозию стенок труб. Большие скорости перемещения канализируемых вод и влекомых ими наносов требуют труб, сделанных из относительно более стойких (и, стало быть, дорогих!) материалов. Естественно, что нужен поиск оптимальных условий. Учет этих требований технологии (определения углов наклона для оценки качества и стоимости строительных материалов) создает прочные основания для выбора нормативных оценок рельефа. Этот же выбор оптимальных условий (нормативные оценки рельефа в этом случае проводятся путем сопоставления: уклоны рельефа — стоимость материалов) необходим не только для оценки рельефа и при строительстве канализационных объектов, но и при транспортном строительстве (изнашиваемость рельсов на разных уклонах неодинакова), и при изысканиях под строительство сооружений системы водоснабжения (относительный размах высот рельефа определяет величину гидростатического напора в водонапорных трубах и вызывает необходимость использования более дорогих труб высокой прочности).

Пример третий. Для целей водоснабжения строятся водоприемники различных видов. Расположение их в зоне активного транзита наносов, в местах накопления или размыва наносов потребует дополнительных затрат на обеспечение их охраны, а также очистку воды. Нормативный подход в этом случае потре-

бует оценки развивающихся русел вдольберегового потока наносов (на берегах водохранилищ, озер, морей). Для оценки морфолитодинамики необходим нормативно-технологический подход.

Пример четвертый. Может существовать и группа нормативов, которая возникает при рассмотрении взаимосвязей внутри цепочки: рельеф — микроклимат — санитарные требования к условиям жизни людей.

Эти примеры иллюстрируют широту понятия «функционально-нормативный подход» к оценке рельефа при инженерно-геоморфологических исследованиях.

2.3. АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА ПРИ НОРМАТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ В ЕГО ОЦЕНКЕ

Оценка рельефа, идущая «от технологии к рельефу», должна опираться на ряд положений, следующих из главной концепции инженерной геоморфологии, основные черты которой были сформулированы еще Т. В. Звонковой.

1. Необходимо оценить каждый элемент технических сооружений и их комплекс с точки зрения их отношения к рельефу в стадии проектирования, строительства и эксплуатации.

2. Рассмотреть основные функции и тип функционирования сооружения и установить влияние различных свойств элементов рельефа на ход функциональных процессов.

Для каждого типа сооружений этот набор может оказаться неодинаковым. По отношению к рельефу все виды технических сооружений можно разделить на три категории: точечные, линейные и площадные. Каждый из этих типов отличается характером взаимодействия с элементами рельефа. Например, опора линии электропередач (точечный объект) обычно намного меньше отдельных элементов рельефа; дорога (линейный объект) пересекает множество элементов, и в силу этого важно отметить неоднородность (анизотропность) геоморфологического пространства (набор элементов рельефа и рельефообразующих процессов меняется с изменением возможного направления дороги); промышленная площадка (площадной объект), на которой размещается комплекс сооружений, территория города. Естественно, что геоморфологический анализ территории для каждого объекта складывается неодинаково.

Типология объектов может быть проведена и по иным принципам, например по их назначению: сооружения для жилья, для производства, для транспортных целей, для сельскохозяйственного производства, для рекреационных целей.

Оценки рельефа для каждого из типов сооружений будут неодинаковы и могут формироваться под влиянием различного вида норм, включающих затраты: на вертикальную планировку; на обеспечение устойчивого функционирования сооружения на

заданный срок (защита агрегатов, защита от вредных явлений и пр.); на функционирование систем водоснабжения, энерго-снабжения, канализации, на соблюдение техники безопасности и санитарных норм.

Оценка рельефа может быть проведена с точки зрения функционального соответствия геометрии рельефа, в связи с наличием определенных овязей рельефа и рыхлых отложений, а также с морфологической динамикой.

В настоящее время человек использует свыше тысячи различных инженерных сооружений. Перечислить все или многие из них в предлагаемом кратком учебном пособии невозможно; приведены только типичные, наиболее часто встречающиеся объекты, образующие системы сложных инженерных комплексов. К ним относятся здания, подземные и надземные коммуникации, сооружения транспортных систем, промышленные объекты и город как целое.

2.3.1. Одиночное здание и рельеф строительной площадки

В ходе строительства здания сначала отрывается котлован, в котором укладывается фундамент, возводятся стены (и другие несущие конструкции), затем делаются этажные перекрытия, проводятся различного рода коммуникации для освещения, отопления, водоснабжения и канализации, наконец, возводится крыша. Каждому зданию свойственны особые габариты, важнейшими из которых являются длина, ширина здания, его объем и вес. Наиболее простым случаем является строительство на горизонтальных или слабо наклонных поверхностях, когда рельеф практически не оказывает влияния ни на ход строительства, ни на ориентировку здания в пространстве, ни на последующую эксплуатацию. Ровный рельеф «развязывает руки» планировщикам. Поэтому чаще всего выбирают относительно ровные строительные площадки. Однако в ходе освоения территории строительство неизбежно смещается в сторону неудобных земель. Особенно ярко это обнаруживается в горных районах, а учитывая необходимость сохранения сельскохозяйственных земель при бурном росте промышленности и городов, можно думать, что эта тенденция будет главной и на равнинах.

Выравнивание уклонов, или вертикальная планировка, требует затрат на земляные работы, объем которых быстро нарастает пропорционально горизонтальным размерам здания и тангенсу уклона поверхности. Величину дополнительного объема земляных работ $V_{доп}$ в зависимости от уклона можно определить по следующей формуле:

$$V_{доп} = \frac{ml^2 \operatorname{tg} \alpha}{2},$$

где m — ширина здания; l — длина здания; α — угол наклона

поверхности при условии, что здание расположено длинной стороной вдоль уклона местности.

Анализируя зависимость между размерами здания и уклоном, В. Г. Давидович еще в 40-х годах установил следующую зависимость:

$$i_{\max} = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{l} 100\%,$$

где i_{\max} — максимально допустимый уклон поверхности в направлении длины здания; b_{\max} — максимально возможное расстояние от пола первого этажа до поверхности земли в метрах; b_{\min} — минимально допустимое расстояние от пола первого этажа до земли в метрах; l — длина здания.

Известно, что b_{\min} , исходя из санитарных норм, должно быть не менее 0,5 м. Величина b_{\max} лимитируется дополнительными затратами на устройство цоколя и лестничных клеток и редко превышает 1,5 м. Если эти параметры принять в качестве констант, то соотношение упрощается и приобретает вид

$$i_{\max} = \frac{100\%}{l}.$$

При обычной длине здания в 50 м $i_{\max} = 2\%$, или 0,0200, что немного больше 1° ($\text{tg } 1^\circ = 0,0175$), или 1,8%. Отсюда следует, что при уклонах склонов менее 1° рельеф местности не оказывает существенного влияния на ориентировку зданий. При уклонах, превышающих эту величину, необходимо размещать здания так, чтобы длинная сторона была перпендикулярна линии максимального уклона местности. В этом случае, исходя из тех же требований, можно определить и максимальную ширину здания. Можно определить, как показывает В. Г. Давидович, параметры ширины зданий в зависимости от уклонов (табл. 1).

Таким образом, при оценке рельефа для строительства одиночных зданий лимитирующими оказываются уклоны местности. С ними тесно связаны величина земляных работ при вертикальной планировке строительных площадок, соотношение длины и ширины здания, а также ориентировка здания в пространстве. Последняя определяет компоновку комплекса зданий в плане. В горах при больших уклонах местности рельеф оказывает большее влияние на план городов и промышленных узлов, чем на равнинах.

Таблица 1

Допустимые уклоны местности при наиболее часто встречающейся ширине здания (по В. Г. Давидовичу)

Ширина, м	Наибольший уклон, ‰
16	6
14	7
12	8

2.3.2. Устройство сооружений водоснабжения и рельеф

Сооружения системы водоснабжения образуют целый инженерный комплекс, поэтому кроме требований, которые предъявляются к рельефу при строительстве отдельных его частей, могут возникнуть еще и дополнительные требования, связанные с функционированием всей системы как целого. Обычно в состав системы водоснабжения входят водоприемные сооружения и насосные станции, сооружения для очистки воды, водоводы и сети труб, башни и резервуары для хранения воды. Каждый из этих элементов является сложным инженерным сооружением с достаточно специализированными функциями. Отсюда и оценка рельефа при их строительстве неодинакова.

Водоприемные сооружения, или водозаборы, предназначены для получения воды и различаются в зависимости от того, откуда они изымают воду — из рек, озер, водохранилищ, морей или грунтовых вод. Кроме конструктивных различий водоприемники отличаются друг от друга местом расположения водозабора, выбор которого диктуется следующими ограничениями: водоприемники не должны располагаться в районе интенсивного продольного таяния дошного льда, в районе интенсивного осадкоотложения переноса взвешенных и влекомых наносов; водозабор не должен мешать судоходству и лесосплаву; для размещения головных сооружений водопровода необходима площадка; район водозабора должен иметь удобные подходы для трассы водопроводов.

Выбор места для водоприемных сооружений при питании за счет грунтовых вод определяется типом грунтовых вод, глубиной их залегания и дебитом водоносного горизонта.

Выбор места водозабора на реках требует тщательного изучения русловых процессов. Неблагоприятными участками для расположения водозабора будут места интенсивного развития аккумулятивных форм (кос, перекатов и др.). Нежелательны также участки русла, находящиеся на пути движения наносов от области питания до области их аккумуляции, т. е. участки, расположенные ниже устьев постоянных и временных потоков и ниже интенсивных береговых размывов. Поскольку основная масса наносов перемещается в паводок, при выборе места для водозабора необходимо учитывать сезонные изменения русловых процессов, накопление наносов в пределах перекатов в паводок, а также размыв в межень и т. п.

При оценке места для размещения озерного водоприемника важно учитывать процессы формирования берегов, интенсивность и направление вдольберегового потока наносов и возникновение аккумулятивных форм, с ними связанных, процессы заиления озер и др. Это остается справедливым в известной мере и при выборе места для водоприемников в условиях водохранилищ и морей.

На реках в зависимости от особенностей русловых процессов

(характера эрозии и аккумуляции, ледового режима, крупности и количества наносов) наряду с учетом особенностей русловых форм рельефа выбор места водозабора определяется санитарными требованиями. Водоприемник должен располагаться на определенном расстоянии от источников загрязнения воды (бытовых и промышленных стоков населенных пунктов, предприятий, дворов, пристаней и др.). Это расстояние определяется способностью водисточника к самоочищению. На реках, обладающих значительными скоростями течения, вода перемешивается быстро и при достаточных расходах воды допустимое расстояние значительно меньше, чем у рек со спокойным течением. Скорость течения рек, как известно, является функцией уклона, т. е. в определенной степени зависит от рельефа.

Создание водоприемных сооружений, насосных станций и водоочистных сооружений связано с рельефом более сложно. Водоприемные сооружения и насосные станции принимают воду от водозабора и передают ее далее в сеть. При этом чем больше относительные превышения территории над источником водоснабжения, тем больше затраты энергии для подъема воды, тем более мощные насосные установки используются для водоснабжения. Рельеф местности и прежде всего относительные превышения строительной площадки над источником водоснабжения определяют конструкцию и мощность водоприемных сооружений. Здания, в которых размещаются водопрямники, различны по своему устройству и размерам. По отношению к ним остаются справедливыми те же требования, какие предъявляются для оценки рельефа при строительстве одиночных зданий.

После того как вода поднята к объекту водоснабжения, она проходит через шапорную башню и оттуда уже попадает в сеть магистральных водопроводов и далее к потребителю. Для движения воды обычно используется ее естественный напор. Рельеф территории промышленного узла или города, обладающий определенным полем высот, в отдельных случаях может облегчать, а в других затруднять или удорожать водоснабжение объекта. Например, если город располагается у подножия горного массива, то достаточно поднять воду на наиболее высокую точку. А далее она пойдет самотеком без особых осложнений. При пересеченной местности, а также при снабжении водой крупных объектов, занимающих обширную площадь при горизонтальном характере дневной поверхности, возникает необходимость поддержания напора. В результате возводятся дополнительные насосные станции и водонапорные башни. Таким образом, на конструкцию водопроводной системы оказывает большое влияние горизонтальная и вертикальная расчлененность местности. Рисунок водопроводной сети тесно связан с рельефом местности.

Узловыми точками этой системы являются водонапорные башни. Наиболее часто их помещают на возвышенные участки. Далее проводится зонирование территории. На горизонтальной

площадке напор воды падает с удалением от водонапорной башни в соответствии с падением пьезометрического уровня. В соответствии с этим могут быть выделены концентрически расположенные зоны многоэтажной, пятиэтажной и одноэтажной застройки. Последняя из них максимально удалена от водонапорной башни. Пример подобного зонирования показан на рис. 2, а.

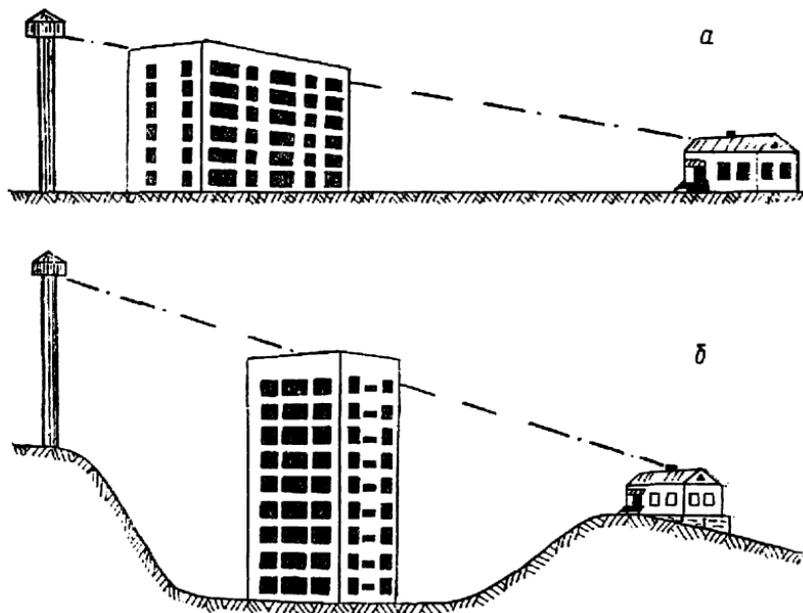


Рис. 2. Горизонтальное (а) и вертикальное (б) зонирование территории

При пересеченном рельефе эта картина усложняется. В этом случае четко проявляется вертикальный принцип зонирования многоэтажной застройки (см. рис. 2, б). В понижениях рельефа допустима многоэтажная застройка. На возвышенных элементах рельефа этажность должна быть снижена. При отклонении от этого правила увеличиваются эксплуатационные расходы на водоснабжение.

Между водонапорными пунктами прокладываются магистральные водопроводы, из которых далее вода поступает в сеть. Вполне естественно прокладывать эти сооружения по линиям местных водоразделов. Это позволяет удешевить строительство и повысить надежность эксплуатации.

При создании водопроводных систем приходится учитывать еще один аспект влияния рельефа на надежность их эксплуатации. Как уже было сказано выше, повышения понижают напор воды в трубах, понижения его увеличивают. Из-за этого при больших перепадах высот при расчлененном рельефе для положения водоводов вдоль тальвегов необходимо использовать

трубы повышенной прочности, что, конечно, удорожает строительство. Особенно уязвима стыковка труб. В понижениях рельефа больше вероятность аварий.

Водоснабжение территории обычно осуществляется таким образом, чтобы создать единый районный водопровод или построить несколько разобщенных водопроводных систем. Особенно жесткие требования предъявляются к магистральным водопроводам районного значения. В крупных современных городах водонапорные башни не строят, их заменили насосами, эрлифтами и т. п.

При оценке рельефа для целей водоснабжения особенно важно учитывать, что утечка воды из системы может способствовать усилению ряда рельефообразующих процессов: суффозионных и иных просадок, карста, явлений подземного размыва (глинистого карста), поднятия уровня грунтовых вод. Сеть водопроводных труб может быть повреждена также оползнями и нарушениями при землетрясениях.

Критериями оценки рельефа для строительства систем водоснабжения наряду с уклонами местности являются также размах превышений промышленного объекта или территории города и распределение поля высот на самом объекте, а также параметры, описывающие горизонтальную и вертикальную расчлененность рельефа.

2.3.3. Канализационные сооружения и рельеф

Канализация территории тесно связана с системой водоснабжения, так как после использования вода меняет свои качества и в соответствии с санитарными требованиями должна быть удалена с территории города, поселка и т. д. Расширение водоснабжения неминуемо влечет за собой и расширение канализации. С территории населенных пунктов удалению подлежат три типа вод: производственные воды, фекально-сточные (бытовые) и ливневые. Их канализация может быть раздельной или смешанной.

Обычно территорию, подлежащую канализации, подразделяют на бассейны канализации, под которыми понимают части территории, ограниченные водоразделами. Схема канализации упрощается, если территория находится в одном бассейне стока, если не в одном, то затрачиваются дополнительные средства для устройства насосных сооружений, перекачивающих сточные воды через местные водоразделы. Вся система канализации состоит из приемников, канализационной сети, очистных сооружений и водовыпусков. Связь с рельефом каждого элемента канализационной системы вытекает прежде всего из его назначения.

Приемники, как это следует из самого названия, принимают воды в систему канализации. Их конструктивные особенности, размеры и местоположение определяются составом воды, ее ко-

личеством и скоростью поступления. Оценка рельефа при строительстве приемников наиболее важна для канализации стока ливневых вод. Сток ливневых вод зависит от режима выпадения атмосферных осадков. Рельеф местности оказывает влияние на скорость поступления вод и их количество и тем самым определяет местоположение приемников и их частоту.

Канализационная сеть, состоящая из труб различного диаметра, служит для отвода канализационных вод. Во-первых, она должна быть привязана к гальвегам в рельефе. Во-вторых, она должна быть расположена так, чтобы обеспечивался быстрый отвод вод.

Регулирование сточных вод производится подбором труб соответствующего диаметра и их наклоном. Большое затруднение при проведении канализации представляют пониженные места рельефа, обладающие незначительными уклонами. В этом случае даже минимальные наклоны труб при значительной протяженности трассы коллекторов канализации в конечном результате приводят к излишнему заглублению всей системы, поэтому горизонтальные площадки на трассе нежелательны.

Чрезмерно большие уклоны местности также вызывают осложнения при создании канализационной системы. С увеличением скорости течения канализационных вод возрастает истирающее влияние различного рода взвесей на трубы; сроки службы нормальных труб уменьшаются, возникает необходимость в более прочных, а вместе с тем и более дорогих материалах для их изготовления. На рис. 3 показаны различные положения труб по отношению к дневной поверхности.

Наиболее благоприятно положение, когда уклон поверхности параллелен необходимому наклону канализационной сети (рис.

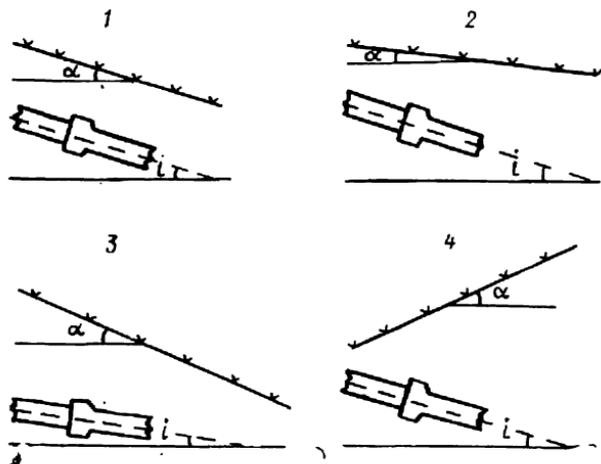


Рис. 3. Четыре основных положения канализационных труб по отношению к рельефу (α — уклон поверхности, i — минимально необходимый наклон труб): 1 — $\alpha = i$; 2 — $\alpha < i$; 3 — $\alpha > i$; 4 — $-\alpha + i$

3,1). Когда уклон поверхности меньше требуемого минимального наклона труб, обеспечивающего отток вод, канализационные трубы по мере удаления от приемника уходят на все большую глубину и потребуются дополнительные перекачивающие станции (рис. 3,2). Если уклон поверхности больше максимального наклона труб, тогда во избежание выхода канализационных труб на поверхность строят перепадные колодцы и быстротоки. Это ухудшает гидравлический режим системы, требует более прочных материалов, вызывает необходимость мер для предупреждения аварий (рис. 3,3). И наконец, возможен и такой вариант: уклон местности противоположен наклону канализационных труб (рис. 3,4); в целом он напоминает второй случай (см. рис. 3,6), но заглубление всей системы происходит чрезвычайно быстро.

Таким образом, критерии оценки рельефа определяются минимально и максимально возможными уклонами коллекторов канализационных вод.

Минимальные уклоны труб определяются их диаметрами и внутренней шероховатостью. В современной практике принята следующая зависимость между диаметром трубы и минимальным ее наклоном (табл. 2).

Таблица 2

Диаметр трубы, мм	Наклон,	Диаметр трубы, мм	На:
250	0,4	450	0,18
300	0,33	500—600	0,15
350	0,3	700 и выше	0,1
400	0,2	каналы	0,04—0,05

Максимальные уклоны труб в соответствии с их прочностью редко превышают 5% (около 3°).

Глубина заложения канализационной сети зависит кроме уклонов поверхности еще от ряда факторов, главные из которых:

1) положение «диктующих» точек. Нижней диктующей точкой является уровень реки, в которую сливают сточные воды, верхней — самая высокая точка у начала канализационной сети (на водоразделах). Верхних диктующих точек может быть несколько;

2) глубина промерзания грунта. Величина промерзания в пределах бассейна канализации может сильно варьировать в зависимости от местных условий, важнейшими из них являются угол наклона и экспозиция склонов бассейнов канализации;

3) мощность рыхлых отложений. Стоимость земляных работ при строительстве канализации сильно удорожается, если мощность рыхлых отложений меньше глубины промерзания, до-

сколькó все коммуникации будут в этом случае прокладываться в скальных грунтах.

В системах канализации важное место занимает группа сооружений, предназначенная для обезвреживания сточных вод и для улавливания из них некоторых полезных соединений, главным образом органических (жиров, газов и т. п.). Расположение большинства очистных сооружений на местности диктуется рисунком относительно пониженных участков рельефа.

Несколько иные характеристики рельефа требуются для полей орошения и полей фильтрации, входящих в систему очистных сооружений канализационных вод. Поля орошения служат для улавливания значительного количества органических остатков и обезвреживания их на почве. На полях орошения базируется, как правило, пригородное сельское хозяйство. Поля орошения устраиваются на почвах, обладающих достаточной фильтрационной способностью. Наиболее благоприятны для их создания низкие песчаные террасы. Размеры полей орошения определяются из расчета 10 м² площади на 1 м³ жидкости. Поскольку по существующим правилам территория полей орошения поливается канализационной жидкостью один раз в три года, эта норма увеличивается до 30 м².

Поля фильтрации отличаются от полей орошения тем, что на них поступают канализационные воды с меньшим содержанием органических веществ. Использование их в данном случае ничем не отличается от обыкновенных вод, применяемых при поливном земледелии в засушливых районах. Поля фильтрации и орошения располагаются на солнечных, хорошо проветриваемых территориях с учетом местных ветров по отношению к населенным пунктам (преобладающее направление ветра летом должно быть от населенных пунктов к полям орошения, а не наоборот).

При оценке рельефа кроме морфометрических особенностей (уклоны, гипсометрия и т. п.), важно иметь в виду, что утечка канализационных вод может способствовать усилению ряда рельефообразующих процессов, в том числе и тех, которые неблагоприятно сказываются на устойчивости (а стало быть, и на пригодности) территории. К таким явлениям в первую очередь относятся суффозионные и иные просадки, явления карста подземного размыва — глинистого карста. Утечка канализационных вод может способствовать поднятию уровня грунтовых вод. Особенно неблагоприятно это может сказаться на явлениях карста, поскольку канализационные воды часто содержат свободную углекислоту, а в отдельных случаях примесь и иных соединений, повышающих их агрессивность по отношению к карбонатам.

Сооружения, обеспечивающие водоснабжение канализационную сеть легко могут быть нарушены оползнями, обвалами, осыпями, сейсмическими явлениями и др.

2.3.4. Транспортные средства и рельеф

Транспортные средства имеют различное значение и зависят от характера грузов и дальности перевозок. В соответствии с экономическими задачами в пределах каждого административного района формируется дорожная сеть определенного класса, на ее структуру влияют не только экономические, но и природные факторы. Воздушный, железнодорожный, автомобильный, водный транспорт по-разному связаны с рельефом местности. Сравнительно новыми видами транспортных средств являются линии трубопроводов и электропередач, помощью которых передаются массовые грузы (нефть, газ и пр.) и энергия. Одни из них приспособливают к рельефу, используя естественные пути — реки (водный транспорт), для других же (воздушный транспорт) оценка рельефа местности существует лишь в пунктах взлета и посадки. Автомобильный и железнодорожный транспорт в соответствии с характером средств движения нуждаются в создании дорог определенного класса. Дорога, пересекая территорию, имеет определенный профиль. Там, где характер рельефа удовлетворяет техническим требованиям по эксплуатации дороги, строительство заметно облегчается. Пересекаемый рельеф удлиняет путь и создает дополнительные трудности и затраты при строительстве и эксплуатации дороги. Положение дорог диктуется направлениями грузопотоков и пассажирских перевозок с учетом природных особенностей территории.

Строительство новых дорог на любой территории сочетается с реконструкцией и улучшением старых, уже действующих. При реконструкции транспортных магистралей необходимо установить причины, затрудняющие эксплуатацию, и выяснить возможности перевода дорог в более высокий класс (спрямление дорог, улучшение продольного профиля, устранение вредного воздействия некоторых явлений, в том числе обусловленных рельефом — рост оврагов, просадки, пучинообразование). При проложении новых магистралей проводятся сравнение и выбор конкурирующих направлений, затем тщательно анализируются природные условия вдоль трассы.

По отношению к рельефу сухопутные дороги могут быть водораздельными, долинными, косогорными или пересекающими долины и водоразделы. Очень часто в пределах одной дороги можно встретить различные сочетания указанных вариантов.

Оценка каждого варианта дороги исходит из необходимости определения кратчайшего пути между пунктами и обеспечения экономичности строительства и эксплуатации дороги. Последнее достигается: а) максимальной возможным совпадением уклонов дороги с естественными уклонами; б) возможно меньшими пересечениями болот, озер, рек, оврагов и т. п.; в) исключением мест, где интенсивное развитие физико-географических процессов будет мешать строительству и нарушать нормальную экс-

плуатацию дороги (крутые косогоры, затапливаемые, заносимые места и т. п.).

Допускаемые уклоны в продольном профиле дороги определяются техническими нормами и различны для разных видов сухопутного транспорта. Поэтому целесообразнее рассматривать характеристику рельефа отдельно для каждого вида транспорта.

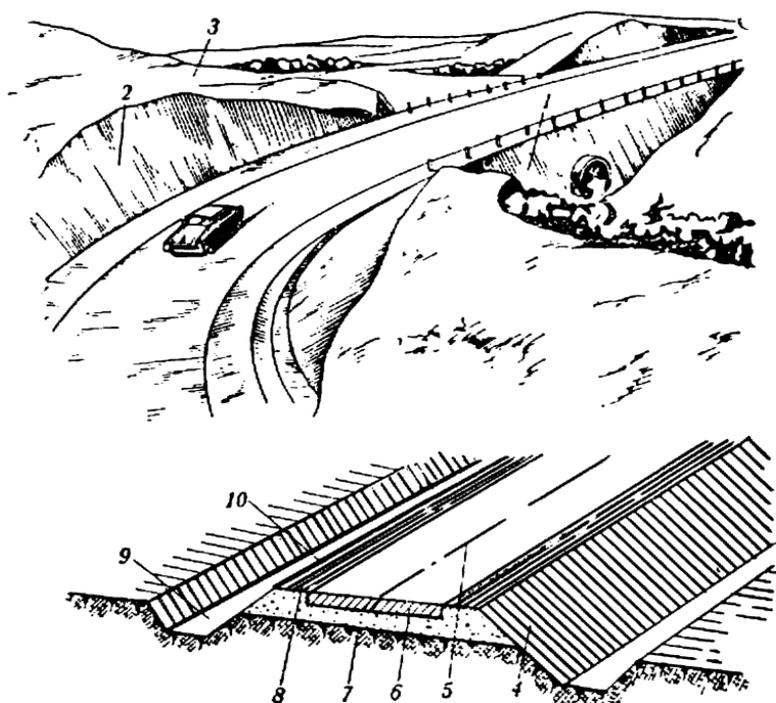


Рис. 4. Земляное полотно и элементы конструкции автомобильной дороги (по Максимоу, 1974): 1 — насыпь; 2 — выемка; 3 — поверхность земли; 4 — откос насыпи; 5 — ось дороги; 6 — дорожное покрытие; 7 — поверхность грунта основания полотна дороги; 8 — обочина; 9 — кювет; 10 — бровка насыпи

Рельеф и автомобильные дороги. В районных перевозках автомобильный транспорт обычно занимает одно из ведущих мест. Его развитие тесно связано со строительством шоссеиных, улучшенных и иных грунтовых дорог (рис. 4). В настоящее время принято выделять пять классов автомобильных дорог. В табл. 3 приводятся их основные технические характеристики.

Полотно автомобильной дороги постоянно испытывает воздействие движущегося автотранспорта, оказывая в свою очередь влияние на скорость движения и на срок его службы. Срок службы автомобилей определяется во многом состоянием полот-

на, которое зависит от природных факторов, в том числе и от рельефа. Скорость движения лимитируется уклонами продольного профиля и радиусами кривизны дороги в плане.

Таблица 3

Характеристики автомобильных дорог

	Классы дорог				
	I	II	III	IV	V
Расчетная скорость движения для легковых автомобилей, км/ч	120	100	80	60	40
Число полос движения	4	2	2	2	2
Ширина полосы движения, м	3,5	3,5	3,5	3,0	2,75
Ширина проезжей части, м	14,0	7,0	7,0	6,0	5,50
Ширина земляного полотна не менее, м	23,0	12,0	11,0	10,0	9,5
Наибольший допустимый продольный уклон, %	4	5	6	7	9

Предельные продольные уклоны на автомобильных дорогах, которые могут быть преодолены, зависят от мощности двигателя, веса машины с грузом, характера сцепления колес автомобиля с покрытием дороги, скорости автомобиля и длины данного участка дороги. Данные о скорости движения в зависимости от уклонов могут быть показаны на примере машины марки «Москвич-412» с 75-сильным двигателем (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость скорости движения автомобиля «Москвич-412» от уклона местности

Первая передача		Вторая передача		Третья		Четвертая передача	
Максимальные характеристики							
скорость, км/ч	уклон, %	скорость, км/ч	уклон, %	скорость, км/ч	уклон, %	скорость, км/ч	
5	34,8	10—20	17,8	30	10,7	50	7

При низких передачах заметно растет расход топлива, уменьшается скорость движения, т. е. ухудшаются экономические показатели эксплуатации транспорта. На горизонтальной или почти горизонтальной поверхности автолюбитель может развивать скорость до 140 км/ч и передвигаться на четвертой передаче. При уклонах в 7% (или 4°) и более водитель должен переходить на третью передачу, при этом в скорости он теряет

почти в три раза. В пределах населенных пунктов скорость движения обычно ограничена 60—80 км/ч, поэтому можно думать, что предельный продольный уклон улиц не должен превосходить 7%. Для шоссеиных дорог участки с уклонами более 17,8% (более 10°) должны иметь ограниченную протяженность. Очень важны сочетания уклонов на положительных и отрицательных перегибах продольного профиля дороги. Можно говорить о радиусах закругления полотна дороги в вертикальной плоскости. Минимальные радиусы кривизны определяются, исходя из соображений безопасности движения, а также габаритов автомобиля (длина, задний и передний углы въезда, наименьшее расстояние от полотна дороги до низших точек шасси, приподнимаемость автомобиля). Безопасность дороги связана с дальностью обзора дороги водителем, а это зависит от радиуса изгиба дороги в вертикальной плоскости и от высоты сиденья водителя.

При движении автомобиля со скоростью 80 км/ч минимальный путь торможения равен приблизительно 50 м. Это расстояние автомобиль проходит за 2—3 с. Поэтому, после того как водитель увидел некоторое препятствие (например, встречное транспортное средство) и заюормозил, автомобиль пройдет еще путь, равный минимальному расстоянию торможения. А если «препятствие» движется с аналогичной скоростью, то дальность безопасного осмотра дороги должна быть равна 100—150 м. Отсюда, зная высоту автомобиля, можно рассчитать и предельно допустимый радиус изгиба полотна дороги в вертикальной плоскости. Простые расчеты показывают, что радиус в этом случае близок к 7,5 км. При уменьшении скорости движения эта величина может быть сокращена до 600 м.

Горизонтальная расчлененность рельефа местности или необходимость преодоления крутых подъемов приводят к необходимости отклонения дорог от прямой не только в вертикальной плоскости, но и в плане. Особо крутые склоны заставляют трассировать автомобильные дороги в виде серпантинов. Радиусы закругления дороги в горизонтальной плоскости находятся в зависимости от тех же факторов, что и уклоны продольного профиля. Но, кроме того, на них оказывают влияние еще два обстоятельства: поперечный уклон полотна дороги и потеря видимости водителем на повороте. Для дорог различного класса радиусы закруглений различны и определяются скоростью движения на поворотах.

На состоянии полотна (естественного и с каменным покрытием) особенно неблагоприятно сказывается неглубокое залегание грунтовых, а также застаивание поверхностных вод. Застаивание вод приурочено к плохо дренированным междуречьям или пониженным местам в рельефе. Неглубокое залегание грунтовых вод наблюдается там, где они подходят наиболее близко к поверхности — вдоль основания склонов и в отрицательных формах рельефа.

Изменение литологии поверхностной толщи в горизонталь-

ном направлении также сказывается на рабочих свойствах полотна грунтовых и шоссейных дорог, поскольку на границе двух литологических комплексов проходит резкая смена несущих способностей грунта. Известно, что полотно грунтовых и шоссейных дорог, проложенное по сухому песчаному грунту, более устойчиво и долговечно, чем полотно на глинистом и суглинистом основании. Смена литологии обычно легко прослеживается по изменению в рельефе.

Проложение грунтовых и шоссейных дорог приводит к некоторым нарушениям естественного растительного и почвенного покрова, вызывает уплотнение грунта, что в свою очередь отражается на характере стока и ряде других рельефообразующих процессов. Особенно часто вдоль дорог закладываются овраги на относительно крутых склонах, по полотну или по незакрепленным кюветам дороги.

Неблагоприятно сказываются на сохранности дороги суффозия и другие просадки, лучинообразование, а также карстовые, оползневые и другие процессы, результатом которых являются значительные перемещения и удаление масс пород непосредственно из полотна дороги или поблизости от нее.

Рельеф и железные дороги. Железнодорожная сеть в масштабе административного района и даже области обычно значительно реже сети шоссейных и грунтовых дорог. По назначению различают внутризаводской подъездной и общесетевой железнодорожный транспорт. Внутризаводской железнодорожный транспорт носит характер замкнутого хозяйства, развитие которого тесно связано с технологией производства, а поэтому об оценке рельефа при создании такого транспорта будет сказано в разделе «Рельеф и выбор строительных площадок для промышленности». Проведение железных дорог в любом экономическом районе зависит от положения опорных пунктов (за которые принимают обычно железнодорожные станции), отдельных предприятий, месторождений полезных ископаемых, населенных пунктов. Обычно внутрирайонные дороги имеют небольшую протяженность со сложным планом и профилем.

Минимальные радиусы кривизны в горизонтальной плоскости, принятые на дорогах России, в среднем равны 600 м, а для дорог местного значения — 200 м. Величина предельных уклонов определяется весом поезда и силой тяги паровоза, тепловоза, электровоза.

В современной железнодорожной практике принято разделять территории по условиям рельефа на четыре категории (табл. 5). Уклоны более 1,2% на трассы создают значительную трудность для эксплуатации и поэтому недопустимы. Для строительства узкоколейных железных дорог при ширине полотна в 1 м и менее допустимы предельные продольные уклоны местности до 4,0%.

При эксплуатации железных дорог неблагоприятное воздействие оказывают те рельефообразующие процессы, которые

Категории трудности рельефа

Категории рельефа	Наибольшая косогорность	Средний уклон местности, %	Максимальное число колебаний, м/1 км пути
Легкий	1:10	0,1—0,3	40
Средний	1:5	0,4—0,6	40—70
Трудный	1:1	0,7—1,2	70—100
Особо трудный (горный)	1:1	>1,2	более 100

резко деформируют поверхность и в результате деятельности которых перемещаются значительные земляные массы, изменяющие полотно дороги. К таким процессам в первую очередь относятся эрозия, оползни, обвалы, карст, суффозионные и иные просадки.

Рельеф и водный транспорт. Если территория обладает значительно разветвленной сетью водных путей, то существенная часть грузов перевозится водным транспортом. Это в первую очередь касается перевозок массовых грузов (лес, руда, строительные материалы, уголь, сельхозпродукты и т. п.).

Известно, что сток поверхностных вод формируется под воздействием ряда природных факторов. На характер водотоков большое влияние оказывает рельеф местности. В свою очередь формы рельефа, созданные текучими водами (овраги, балки, речные долины), являются главными элементами рельефа. В форме этих элементов рельефа содержится информация, которая позволяет различно оценивать судоходные возможности их русел. Так, например, весьма резко различаются долины горных и равнинных рек. Более тщательное геоморфологическое изучение поймы и русла как элементов рельефа позволяет сделать ряд важных суждений о пригодности рек для транспортных целей.

Реки с точки зрения их транспортных возможностей разделяют на сплавные и судоходные, различающиеся глубиной, шириной судоходного хода и радиусами закругления русел. Для судоходства минимальные глубины рек на перекатах должны быть не менее 3,5 м. Сплавные реки имеют меньшую глубину и большую скорость течения. В настоящее время критериями оценки реки как сплавной транспортной магистрали практически не пользуются, хотя показатели извилистости русла, наличие в нем островов, количество протоков, безусловно, должны представлять интерес. Характер берегов и поймы, наличие или отсутствие речных террас определяют место выбора лесных пристаней и запаней. Они наиболее часто располагаются в устьях сплавных рек и у мест их пересечения с железнодорожными магистралями.

Оценка рельефа территории для судоходных рек прежде всего связана с оценкой русла и русловых процессов фарватера, а

также с выбором места речного порта. Особенно важна оценка при реконструкции водной системы. Превращение реки в ряд водохранилищ вызывает существенную перестройку рельефа, особенно в пределах береговой полосы. Рельеф при этом должен рассматриваться с точки зрения непосредственного его влияния на выбор порта, глубину фарватера, на условия подходов к порту, якорные стоянки, условия сооружения набережных, устойчивость берегов, заиление водохранилища в целом и его частей в отдельности, подпор грунтовых вод и заболачивание территории. Макрорельеф территории оказывает влияние на направление и силу ветра, который в свою очередь определяет направление и силу волнения и связанных с ним волновых рельефообразующих процессов.

Рельеф и воздушный транспорт. Доля воздушного транспорта в системе грузо- и пассажиропотоков, как правило, невелика. Исключения представляют лишь труднодоступные горные районы и районы дальнего севера. Выбор авиационной трассы в равнинных условиях рельефом не предопределен, и лишь расположение аэродромов требует специальной его оценки. Рельеф местности в горах (абсолютная и относительная высота, густота расчленения, ширина долин и др.) оказывает существенное влияние на авиатранспорт, так как определяет тип самолетов для местных линий. Оценка рельефа местности для создания аэродромов строго связана с техническими свойствами самолетов.

Площадка, отведенная для аэродромов, должна обладать спокойным рельефом и размерами, достаточными для расположения взлетных полос и зон отчуждения, необходимых для подходов и маневров самолетов при взлете и посадке. Размер взлетных площадок, а также зоны отчуждения зависят от ряда технических характеристик самолетов (посадочная скорость, угол взлета и посадки). Рельеф определяет конфигурацию аэродромов и ориентировку взлетных полос.

При прочих равных условиях аэродромы следует располагать на плоских возвышенных местах междуречий или на низких террасах в расширениях долины. Крайне нежелательные в пределах аэродромов явления эрозии, просадок, мерзлотных пучин, оползней, карста и т. п.

Рельеф и линии передач. При оценке рельефа для проведения линий передач руководствуются принципом кратчайшего расстояния, которое наиболее экономично при эксплуатации и сокращает затраты при строительстве. Кроме того, желательно максимальное совпадение профиля рельефа вдоль линии передач с техническими нормами. Прирост длины линии передач в зависимости от уклона поверхности можно определить по формуле

$$\Delta a = \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} 100 \%,$$

где Δa — прирост длины в процентах; α — угол наклона поверхности склона.

С точки зрения техники передачи все линии можно разделить на следующие разновидности: 1) линии передач, где движение осуществляется за счет разности потенциалов (линии электропередач высокого напряжения); 2) линии передач, где движение осуществляется за счет разности давления (газопроводы, паропроводы, нефтепроводы); 3) линии передач, где движение осуществляется под действием силы тяжести.

Нередко линии передач второго и третьего видов комбинируются. По существу, они близки к системам водоснабжения и канализации, а поэтому и критерии оценки рельефа здесь должны быть аналогичными тем, которые описаны выше в соответствующих разделах главы.

2.3.5. Рельеф территории и выбор строительных площадок для промышленных предприятий

При выборе площадок для строительства промышленных предприятий исходят из того, что площадка должна быть достаточной для размещения сооружений данного производства, должна обладать спокойным рельефом, незначительными уклонами, удобными подъездными путями для транспортировки сырья и готовой продукции. Площадка должна быть расположена на допустимом расстоянии от источников водоснабжения, обладать уклонами, достаточными для канализации, иметь в близости территорию, необходимую для строительства рабочего поселка или города.

Каждая отрасль промышленности имеет некоторую специфику технологического процесса производства. Поэтому критерии для оценки рельефа промышленных площадок индивидуальны, но они складываются из некоторых звеньев, внутри которых уже возможна определенная типизация. Главными звеньями являются промышленные строения и внутризаводской транспорт.

О свойствах рельефа, учет которых необходим при строительстве отдельных зданий разных габаритов, говорилось выше. Кроме габаритов промышленные строения имеют тяжелое оснащение в виде машин, станков, камер и иных приспособлений. Отсюда особое внимание должно уделяться тем явлениям, которые определяют устойчивость основания фундаментов. Жесткие конструкции сооружений чрезвычайно чувствительны к просадкам, при этом особенно неблагоприятно сказывается неравномерная осадка фундаментов. Многие виды промышленности связаны с вибрирующими и иными устройствами, которые сообщают дополнительное давление на грунт в виде динамических нагрузок. Необходимо иметь в виду, что некоторые виды производства, потребляющие большое количество воды, неизбежно теряют ее. Вследствие недостаточной гидроизоляции основания зданий потери производственных вод уменьшают несущие способности грунта. Особенно это опасно в районах распространения лёссовидных просадочных пород.

Рельеф и внутризаводской транспорт. Как уже указывалось, внутризаводской транспорт является замкнутым транспортным хозяйством, функции которого тесно связаны с технологией производства, поэтому на разных предприятиях он выполняет различные функции. Вид транспорта определяется характером транспортируемых грузов и направлением движения. По направлению движения грузопотоков промышленные объекты можно разделить на четыре группы, в которых технологические процессы совершаются:

- 1) на одном высотном уровне, а грузопоток движется в горизонтальной плоскости;
- 2) на различных высотных уровнях, а основной грузопоток имеет восходящее направление;
- 3) на различных высотных уровнях при нисходящем направлении основного грузопотока;
- 4) на различных уровнях при смешанном направлении грузопотоков.

Для первого варианта наилучшим условием является горизонтальная площадка со спокойным микрорельефом. Всякое отклонение от этого условия будет вызывать затруднения при размещении промышленных объектов. Даже минимальное изменение этих условий потребует дополнительных строительных и эксплуатационных затрат. Величина этих затрат при одном и том же грузопотоке будет увеличиваться пропорционально длине пути и уклону.

Для остальных трех случаев горизонтальность площадки не обязательна и условия рельефа могут быть более разнообразны. И в этих случаях тот или иной вид транспорта выбирается в зависимости от рельефа и типа перевозимых грузов.

Все транспортные механизмы для перевозки твердых материалов можно разбить на следующие группы: 1) устройства для перевозки по дорогам и путям (железные дороги узкой и широкой колеи, тележки, вагонетки, электрокары, автокары, подвесные дороги и т. п.); 2) устройства с одним рабочим приспособлением, подвешенным к подъемной машине (грузоподъемные машины, лебедки, скипы, подъемники и т. п.); 3) устройства с тяговыми органами (ленточные, пластинчатые, скребковые транспортеры, элеваторы, конвейеры и т. п.); 4) устройства без тяговых органов (качающиеся транспортеры, шнеки, транспортирующие трубы, гравитационные устройства, роликоты и пневматические транспортеры и т. п.). Транспортирование газов и жидкостей во внутризаводском хозяйстве осуществляется или в соответствующей таре (баллоны, бутылки и т. п.), или по трубопроводам.

Из перечисленных транспортных механизмов с рельефом связаны только устройства первой группы. Принципы оценки рельефа: аналогичны указанным в разделе «Рельеф и транспорт». Остальные группы устройств с рельефом не связаны.

2.3.6. Рельеф территории и выбор площадок при строительстве городов и других населенных пунктов

Выбор площадок для строительства города или поселка в какой-то степени предопределен выбором территории для промышленного строительства, хотя выбор промышленной площадки в свою очередь зависит от наличия мест, удобных для селитьбы.

Современный город обладает сложным техническим хозяйством (городской транспорт, водопровод, канализация и др.), нуждающимся в определенных условиях рельефа. Поскольку вопросы взаимозависимости водоснабжения, канализации и рельефа уже анализировались выше, в данном разделе они не рассматриваются. Следует лишь отметить, что рельеф, определяя конфигурацию водопроводной сети и положение водонапорных башен, оказывает сильное влияние на расположение зон этажности. Обычно понижениям в рельефе соответствуют зоны многоэтажной застройки.

Современный город надо рассматривать как сложный объект, состоящий из ряда элементов. Главными из них являются квартал и улица. Эти элементы определенным образом связаны с рельефом местности. Расположение зданий в условиях сложного рельефа в известной мере определяет рисунок улиц и кварталов.

В простирании улиц часто находят отражение и другие, главным образом экономические, факторы. Обычно сетка улиц состоит из линий, параллельных горизонталям, и линий, им перпендикулярных. Улицы — это транспортные артерии города. Наибольшую транспортную нагрузку выполняют основные магистрали города. Большей пропускной способностью обладают магистрали с широкой проезжей частью для обеспечения беспрепятственного скоростного движения транспорта; пропускная способность зависит от вида транспортных средств и продольных уклонов улиц.

Городской транспорт подразделяется на рельсовый и безрельсовый. Для всех видов транспорта наиболее благоприятен продольный профиль, приближающийся к горизонтали. Всякое отклонение от горизонтали вызывает уменьшение скорости движения городского транспорта, дополнительные затраты энергии для преодоления подъемов, к тому же ограничивается выбор направления магистрали, увеличивается объем земляных работ и т. п.

При определении максимально допустимых уклонов для различных видов городского транспорта исходят из веса экипажа (или поезда), мощности тяговых устройств и характера сцепления между колесами и поверхностью дорожного покрытия. Изменяя их соотношения, можно добиться того, что реальный рельеф города будет освоен определенным видом транспорта. Это

можно показать на примере максимальных уклонов трамвайных путей. Так, в крупнейших городах мира уклоны трамвайных путей достигают следующих величин (в %):

Лондон и Берлин	4,5
Кельн	5,0
Санкт-Петербург (мосты), Гамбург	5,5
Вена	6,6
Манчестер и Ливерпуль	7,2
Гаага	8,4
Киев	9,3
Шеффилд	10,5
Москва	10,9
Смоленск	11,0
Лидс	11,9

Обычно расстояния между пунктами измеряют по картам, т. е. измеряют лишь горизонтальное положение. Реально плоской и горизонтальной поверхности почти никогда не бывает, она имеет уклоны, бывает расчленена. Трамвайные рельсы, естественно, прокладывают по реальной поверхности, и поэтому они оказываются длиннее расстояния, измеренного по карте, однако эти различия не велики. Так, при уклоне 15%, что примерно соответствует углу наклона 9°, длина рельса по сравнению с горизонтальным проложением увеличивается на 1,1%.

Таблица 6

Нормы максимальных предельных уклонов улиц
для различных видов городского транспорта

Вид транспорта	Подъем. %	
	предельный	средний
Автобус	12,0	5,0
Троллейбус	12,0	5,0
Трамвай без прицепа	12,0	5,0
Трамвай с прицепом	12,0	3,0
Метро	3,3	1,0
Автотранспорт	15,0	6,0

Для остальных видов городского транспорта нормы максимальных уклонов приведены в табл. 6. Предельные уклоны для улиц безрельсового транспорта зависят во многом от характера дорожного покрытия. С увеличением шероховатости полотна дороги увеличиваются силы сцепления, а поэтому и нормы максимальных предельных уклонов увеличиваются. Однако увеличение шероховатости полотна ухудшает условия стока поверхностных вод и способствует их застаиванию. Допустимые продольные уклоны изменяются в зависимости от характера покрытия полотна дорог (табл. 7).

Зависимость максимальных и минимальных продольных уклонов улиц от их дорожного покрытия

Одежда улиц	Максимальные уклоны, %		Минимальные уклоны, %
	транспортные магистрали	прочие улицы	
Булыжная	5,0	8,0	0,5
Щебеночная	3,0	6,0	0,5
Брусчатка и мозанка	2,5	5,0	0,5
Деревянная торцовая	2,5	2,5	0,3
Тротуары асфальтовые	1,5	5,0	—
Тротуары каменные	10,0	10,0	—
Тротуары гравийные	15,0	15,0	—

Максимальные уклоны рассчитываются, исходя из торможения движущихся экипажей на спуске. Улицы с уклонами более 15% непригодны для проложения городских транспортных путей. В архитектуре города они нередко создаются как улицы-лестницы.

Другим важным элементом города является квартал. Идеальным рельефом каждого квартала будет такой, который обеспечивает некоторое превышение центра квартала над отметками улиц, ибо только в этом случае происходит нормальный сток дождевых вод. Нарушение стока ухудшает санитарные условия квартала. Таким образом, вся территория города в идеальном случае должна состоять из ряда плоских холмов. При этом относительные превышения холмов зависят от размеров квартала. При площади квартала в 3 га относительное колебание высот не должно быть меньше 0,4 и более 6,8 м. При площади квартала в 9 га эти размеры соответственно будут 0,75 и 12,0 м.

Для нормальной работы транспорта, водоснабжения и канализации наиболее удобно прокладывать улицы по линиям тальвегов и водоразделов. При этом к улицам, заложенным вдоль тальвегов, приурочивается проложение магистральных коллекторов сточных вод, по водораздельным улицам прокладываются линии магистральных водопроводов. Обычно естественный рельеф не соответствует заданным нормам строительства. Комплекс мероприятий по приведению естественного рельефа к заданному достигается вертикальной планировкой, стоимость которой нередко входит существенной частью в общую сумму строительных расходов.

Кроме непосредственного воздействия на хозяйство города, рельеф будет определять в известной мере и климатические условия города, его проветриваемость, освещенность, влажность воздуха и т. п. Так, замкнутые, плохо проветриваемые котлови-

ны менее благоприятны для гражданского строительства, чем хорошо освещенные, доступные для ветра междуречья.

Гражданские сооружения, образующие селишьбу, обычно обладают сложно разветвленной сетью подземных коммуникаций. Наличие твердых скальных прунтов сильно удорожает их проложение. Неблагоприятным оказывается также наличие рыхлых грунтов, меняющих объем при увеличении давления или при увлажнении. Различная промерзаемость грунтов в пределах города вызывает необходимость изменения конструкции фундаментов, а также глубины их заложения.

Гражданские сооружения могут оказаться поврежденными при резком проявлении процессов оползания, суффозии, карста, просадок, оседания, береговых размывов, неравномерном протавании вечной мерзлоты, при землетрясениях и других опасных явлениях.

2.3.7. Рельеф и малая гидроэнергетика

При строительстве гидроэлектростанций (ГЭС) рельеф приобретает значение как один из важных факторов, определяющих пригодность территории для размещения гидротехнического комплекса. В его состав входят инженерные объекты различного назначения, каждый из которых и все в совокупности предъявляют определенные требования к рельефу и природной обстановке. К ним относятся плотины, водохранилища, здания гидростанций, каналы, шлюзы и другие сооружения.

В настоящее время разработан и реализуется целый ряд методов инженерных изысканий в речных долинах с целью проектирования гидротехнических сооружений. Они разработаны прежде всего для целей строительства крупных гидроэлектростанций. При этом инженерно-геоморфологические изыскания, как правило, охватывают лишь часть речного бассейна, а точнее, только часть долины главной реки, в пределах которой предполагается строительство комплекса гидротехнических сооружений. Для этих участков долины проводится наряду с геологической крупномасштабная геоморфологическая съемка.

Практика гидротехнического строительства показывает, что нередко многие виды необходимых инженерно-геоморфологических исследований проводятся некачественно или совсем не проводятся, не учитывается реальная инженерно-геоморфологическая ситуация. При проектировании гидротехнических сооружений на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) определяющими выбор строительной площадки для гидроузла и соответственно местоположения водохранилища, размеры и форму его, длину и высоту плотины, ширину ее основания, возможную компоновку инженерных сооружений в пределах гидроузла, как правило, являются морфометрические характеристики рельефа, их оптимальные условия. На стадии строительства и эксплуатации водохранилищ и гидротехнических сооруже-

ний могут возникнуть проблемы, связанные с недостаточной оценкой устойчивости рельефа, геоморфологических условий фильтрации, затопления и подтопления земель, переработки берегов и дна водохранилищ, заболачивания прилегающих территорий, всплывания и дрейфа торфяников, различных видов загрязнений. Когда долгосрочный прогноз эксплуатации гидроэнергетических объектов проводится без должного инженерно-геоморфологического обоснования, наблюдается значительное несоответствие между прогнозируемыми и фактическими характеристиками происходящих процессов.

При проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений инженерно-геоморфологические исследования рекомендуется проводить по следующим основным направлениям:

1) при выборе строительной площадки, когда решается вопрос о целесообразности строительства и предполагаются различные варианты размещения створа гидроэлектростанции в пределах речной долины;

2) в пределах выбранной строительной площадки с целью детального изучения устойчивости рельефа, его генезиса и интенсивности проявления современных экзогенных процессов, а также составления краткосрочных прогнозов взаимодействия изученных процессов с инженерными объектами в период строительства;

3) при составлении долгосрочного прогноза взаимодействия гидротехнических объектов с природной средой и прежде всего с рельефом;

4) для оценки территории в связи с задачами охраны окружающей среды и рационального природопользования;

5) при разработке рекомендаций по предупреждению и предотвращению возможных негативных последствий взаимодействия гидротехнических объектов с окружающей средой на стадии строительства и эксплуатации, а также выбор режима эксплуатации с целью решения задач управления природно-технической геоморфологической системой (ПТГС).

Более подробно содержание инженерно-геоморфологических исследований для целей гидроэнергетики освещено в учебном пособии «Инженерно-геоморфологические исследования в долинах рек и на берегах морей» (Лютцау, Сафьянов, 1983).

Экологические проблемы, связанные с неизбежно возрастающим электропотреблением главным образом за счет тепловых, гидро- и атомных электростанций, вызвали повышенный интерес к использованию возобновляемых источников энергии. Одним из путей дальнейшего освоения гидроэнергетического потенциала является малая гидроэнергетика (МГЭС). Основной количественной характеристикой малой гидроэнергетики является предельная мощность ГЭС в рассматриваемом створе. В России к малым относятся ГЭС мощностью до 30 МВт. Потенциал малой гидроэнергетики складывается из неиспользованной энергии ма-

лых и средних рек, законсервированных и неиспользуемых в энергетике плотин водохозяйственного назначения, систем ирригационного, промышленного и коммунального водоснабжения и т. д.

Особое значение при этом приобретает проблема использования малых рек. К малым принято относить реки с площадью водосбора не более 2000 км² или реки, имеющие длину не более 100 км, независимо от площади их бассейнов. Именно эти реки являются объектом изучения с точки зрения получения дополнительно значительного количества электроэнергии за счет строительства в их пределах малых ГЭС. Так, в США к 2000 г. МГЭС должны обеспечивать 25—50% бытового электропотребления, что приведет к значительному сокращению расхода дорогостоящего органического топлива. Развитие малой гидроэнергетики обусловлено необходимостью максимально возможного вовлечения в хозяйственное использование экологически эффективной части гидроэнергетических ресурсов, потребности в комплексном использовании рек, наличии в стране большого количества рассредоточенных мелких энергопотребителей. В последние годы в ряде зарубежных стран построены сотни малых ГЭС, разработаны новые виды малых турбин и номенклатура унифицированного оборудования, внедрены автоматизированные системы управления работой малых ГЭС. Сооружение полностью автоматизированных МГЭС, работающих без обслуживающего персонала, может существенно улучшить экономические показатели эксплуатации МГЭС и сделать их рентабельность сравнимой с крупными ГЭС.

Очень важно, что МГЭС, как правило, не вступают в конфликтное противоречие с природной средой, а дополняют и улучшают ее. МГЭС в равнинной местности, работающие на низких напорах, не приводят к затоплению пойменных и долинных земель. Каскады низконапорных плотин и цепочки небольших водохранилищ, устроенных в оврагах и балках, способствуют стабилизации гидрологического режима малых рек, повышению их водности, накоплению и рациональному распределению в течение года паводкового стока. Малые ГЭС, повышая базис эрозии, могут стать мощным мелнирующим фактором, эффективным средством противозероизионной защиты земель в районах с переосеченным рельефом и густой овражно-балочной сетью. В недавнем прошлом регулирование режима малых рек выполняли многочисленные мельничные запруды.

В связи с необходимостью массового строительства малых ГЭС возникает ряд географических проблем. Наиболее важные из них — оценка гидроэнергетического потенциала малых рек и инженерно-геоморфологическая оценка территории строительства малых ГЭС и других гидротехнических сооружений.

Инженерно-геоморфологическая оценка территории должна проводиться для выявления благоприятных створов под малые ГЭС с минимальной потерей земельных угодий и определения

направленности и темпов русловых деформаций в нижних бьефах гидроузлов и водохранилищ. Инженерно-геоморфологические исследования являются важной составной частью комплекса экспертных физико- и экономико-географических работ, направленных на районирование территории по степени возможного экологического ущерба от массового строительства МГЭС; на комплексную оценку пойменных земель, подлежащих изъятию из сельскохозяйственного пользования; на разработку оптимальных схем размещения МГЭС с учетом эколого-географических и экономических факторов; на определение очередности освоения гидроресурсов и строительства МГЭС в выделенных районах.

Инженерно-геоморфологические исследования при гидроэнергетическом строительстве малых ГЭС предусматривают комплексное изучение речного бассейна. При этом необходимо обратить внимание на структуру земель внутри каждого водосбора, подлежащего освоению. Для горных территорий наиболее ценными в хозяйственном отношении являются два уровня рельефа. Первый — пологосклонный привершинный и второй — нижний уровень днищ горных долин и межгорные впадины. Склоны гор, как правило, используются менее интенсивно, за исключением площади, занятой лесом. На равнинных территориях активно используются также приводораздельные плоские поверхности и днища долин, по которым проходят транспортные магистрали, находятся пашни, дуга и высны. Менее активно используются склоны междуречий и долин, расчлененных оврагами и балками. На освоенных территориях речных бассейнов под МГЭС следует отводить в первую очередь малоиспользуемые земли. Наиболее рационально проводить изыскание створов будущих МГЭС в средней части водосборного бассейна, так как именно здесь в структуре всего водосборного бассейна в наибольшей степени располагаются малые речные долины с небольшими водосборами, но с достаточно большими продольными уклонами. На основе представлений о модальных бассейнах необходимо выявлять наиболее часто встречающиеся водосборы, и их характеристики использовать для определения параметров малых ГЭС и для создания типовых моделей водосборов.

Рациональное освоение гидроресурсов малых рек предпочтительно 4—5-го порядка (по дихотомической системе кодирования Стралера — Философова), а функции сезонного регулирования стока следует возложить на малые водохранилища водотоков 1—3-го порядка. Постоянно действующая сеть большого числа водохранилищ небольшого объема, создаваемых в балках, оврагах, позволит сгладить сезонные пики стока с речного бассейна крупной реки и обеспечить относительно постоянно загрузку гидроагрегатов каскадов МГЭС и крупных гидроузлов. При работе по определенному графику гидроагрегаты, установленные на плотинах в оврагах и балках и объединенные в единую энергосистему речного бассейна, вместе с МГЭС на реках

4—5-го порядков могут давать существенную прибавку электроэнергии для нужд местных потребителей и снижать пиковые нагрузки в сети централизованного энергоснабжения.

Определение гидроэнергopotенциала малых рек основано на комплексных геоморфологических, гидрологических и ландшафтных исследованиях водосборных бассейнов. В зависимости от задач и масштабов исследований оценка гидроэнергopotенциала может осуществляться на региональном (масштаб 1:200 000, 1:500 000) и локальном (масштаб 1:25 000, 1:50 000) уровнях.

Расчет регионального энергopotенциала малых рек предполагает ряд последовательных операций, связанных с картометрическими работами и анализом морфометрических данных водосборных бассейнов.

На первом этапе строится карта порядков водосборных бассейнов на основе дихотомической системы Стралера — Философова. При этом в понятие «водосборный бассейн» входит не только наличие водотока, но и площадь водосбора, его границы, склоны, опирающиеся на русло или днище долины, и т. д. Выделение совокупности бассейнов на среднемасштабной топографической карте осуществляется с помощью каркасных линий, соединяющих тальвеги всей водно-эрозионной сети, водоразделы, бровки, швы и т. п. Чем мельче масштаб карты, тем больше потерь картографической информации о рельефе и водно-эрозионной сети. Опыт специально проведенных исследований соотношения порядков русел и соответственно бассейнов при переходе от масштаба к масштабу позволит считать, что, например, для равнинных территорий водотоки 1-го порядка в масштабе 1:500 000 реально на местности соответствуют водотоку 4-го порядка. Таким образом, бассейны 1-го и 2-го порядков в масштабе 1:500 000 реально на местности представляют собой бассейны 4-го и 5-го порядков, которые с точки зрения малой гидроэнергетики являются основными объектами исследований.

На втором этапе из всей совокупности выделенных на карте бассейнов используются и анализируются только бассейны 2-го порядка и входящие в них как составная часть бассейны 1-го порядка. В этой связи строится карта структуры площадей речных бассейнов 2-го порядка, на основании которой проводится анализ соотношения площадей, опирающихся на русла 1-го и 2-го порядков в пределах бассейнов 2-го порядка. Для целей малой гидроэнергетики наибольший интерес представляют водотоки с разветвленными верхними звеньями. Чем более разветвленные верховья, тем большую площадь дренируют водотоки 1-го порядка, более интенсивной становится расчлененность территории и, следовательно, увеличивается объем отрицательных эрозионных форм: оврагов, балок, верховьев малых долин, пригодных для создания запруд и водохранилищ. Наиболее благоприятными считаются бассейны, в которых доля водосборных площадей водотоков 1-го порядка составляет не менее 70%. Структура соотношения площадей в малых бассейнах позволяет

их дифференцировать с точки зрения использования для целей малой гидроэнергетики на перспективные, менее перспективные и неперспективные.

На локальном уровне проводятся крупномасштабные инженерно-геоморфологические исследования и определяется гидроэнергетический потенциал конкретного бассейна малой реки. Расчет осуществляется по крупномасштабной топографической карте и серии природных карт, основная из которых ландшафтная. Ландшафтная карта служит ценным источником информации о свойствах природных территориальных комплексов (ПТК), неблагоприятно сказывающихся на строительстве водохранилищ и плотин. ПТК нужно учитывать при оценке результатов воздействия сооружаемых водохранилищ на прилегающие территории. При выборе масштаба топокарты ведущие критерии — полнота информации и наименьшие искажения рисунка постоянных и временных водотоков и их эрозионных форм в верхних звеньях речных бассейнов. В результате анализа этих карт проводится типизация долин ручьев и малых рек, оврагов, балок и ложины. По каждому выделенному типу на карте измеряется статистически достоверное количество эрозионных форм. При этом по карте измеряются длина от устья до истока L , ширина в устье и вблизи к истоку B , b , глубина H эрозионной формы в устье. Объемы W эрозионной сети и проектируемых водохранилищ вычисляются по формуле, предложенной К. К. Эдельштейном (1980):

$$W = \frac{L \cdot H}{6} (B + 2b).$$

Для определения площади S затопляемого пространства (зеркала) применяется формула

$$S = \frac{L(B + b)}{2}.$$

Теоретический гидропотенциал \mathcal{E} (кВт·ч) всего речного бассейна и любой его части рассчитывают по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{W_n \cdot H}{367},$$

где W_n — полезный объем водохранилища, составляющий 25% полного объема W .

Технически доступный энергетический потенциал представляет часть теоретического потенциала, рассчитанного для суммарного объема долинной и овражно-балочной сети. На основании инженерно-геоморфологических исследований и изучения тематических карт из общей совокупности эрозионных форм исключаются расположенные на хорошо фильтрующихся и карстующихся породах балки и овраги с неустойчивыми склонами, заторфован-

лые ложины и т. п. Кроме того, исключаются створы, расположенные в непосредственной близости к населенным пунктам, попадающим в зону затопления и подтопления, и створы, удаленные от потребителей электроэнергии более 10 км, поскольку имеют место большие потери в энергосетях. Для равнинных территорий центра ЕТС технический энергopotенциал примерно в два раза ниже теоретического. Завершающим этапом по расчету гидроэнергopotенциала малых рек является определение реальной потребности в энергоснабжении района, т. е. определение экономического гидроэнергopotенциала.

При планировании массового строительства МГЭС особое значение имеет их оптимальное размещение с точки зрения инженерно-геоморфологических особенностей территории, а также учет экономических потребностей и экологических ограничений.

2.3.8. Рельеф и ветроэнергетика

Одним из нетрадиционных, возобновляемых источников энергии является энергия ветра. Возможность использования энергии ветра определяется рядом факторов. Это в первую очередь климатические условия района. Они характеризуются циркуляционными особенностями воздушных масс и микроклиматическими условиями, зависящими от характера рельефа и подстилающей поверхности. Далее необходимо оценить возможность оптимального расположения ветроэнергетических установок, а также высоты размещения ветродвигателей над поверхностью земли.

В настоящее время принято выделять природные ветроэнергетические ресурсы, ветроэнергоресурсы, пригодные для практического использования, и экономические ветроэнергоресурсы. В ряде стран ветроэнергетика переживает бурное развитие. Так, например, в Великобритании к 2000 г. планируется до 20% потребностей в электроэнергии обеспечить за счет наиболее экологически чистых ветроэнергетических установок разной мощности.

Современные ветроэнергетические установки работают в диапазоне скоростей от 3—6 до 20—30 м/с, что определено их технической конструкцией. Мощность ветроагрегатов колеблется от долей киловатта до первых тысяч киловатт. В зависимости от мощности установок ветроэнергетика подразделяется на большую (или системную) и малую (автономную). Мощные ветроэнергетические установки (ВЭУ) создаются на башнях высотой от 50 до 250 м и часто объединены в крупные комплексы и подключены в единую энергосистему.

Малые ветроэнергетические установки размещаются на высоте от 10 до 25 м и выполняют главным образом роль источника энергии в слабоосвоенных, удаленных от централизованного электроснабжения местах, где могут быть альтернативой дизель-генераторам, работающим на дорогостоящем и дефицит-

ном жидком топливе. На территории СНГ к 2000 г. число эксплуатируемых автономных ВЭУ различной мощности и назначения должно достигнуть 140 тыс. единиц.

Принято делить районы по обеспеченности ветроресурсами на две группы:

1) районы с высокими ресурсами ветра, где многолетняя среднегодовая скорость ветра превышает 6 м/с (побережья морей и океанов, особенно побережье Северного Ледовитого океана, горные районы, степные и пустынные районы Средней Азии и Казахстана);

2) районы с недостаточными ресурсами ветра, где многолетняя среднегодовая скорость ветра менее 4 м/с (равнинные залесенные участки страны).

Например, Московская область попадает во вторую группу районов, но это не означает, что развитие ветроэнергетики здесь не имеет никаких перспектив. На этой территории невозможно развивать системную ветроэнергетику в составе мощных ВЭУ, но вместе с тем имеется немало площадок в пределах Клинско-Дмитровской гряды и других возвышенностей, где успешно могли бы эксплуатироваться ВЭУ единичной мощностью от сотен ватт до десятков киловатт. Территориальное распределение скоростей ветра в Московской области следующее: на ровных открытых местах лесной зоны средняя годовая скорость составляет 3,5—4,0 м/с, в лесостепи она возрастает до 4,0—4,5, а над возвышенностями — до 5,0—5,5 м/с. В котловинах, на лесных полянках и в местах, защищенных строениями, средняя скорость наименьшая и составляет 2,5—3,5 м/с. В этих условиях наиболее оптимальной для установки ветроагрегата для целей малой энергетики является высота в 25 м.

Таким образом, гипсометрия рельефа, характер подстилающей поверхности, пространственное расположение ветроустановок в соответствии с господствующим направлением ветров, перераспределение приземных ветровых потоков в зависимости от оротографических особенностей территории определяют возможности ветроэнергетического использования той или иной территории. Расчетные данные свидетельствуют о нарастании скоростей ветра с ростом абсолютных отметок местности и, наоборот, уменьшении скоростей в западных пониженных и залесенных участках. Причем амплитуда изменения скорости ветра в зависимости от гипсометрии для Московской области составляет 2—3 м/с.

2.3.9. Рельеф и мелиорация

Мелиорация — комплекс мероприятий, направленных на коренное улучшение и преобразование природных условий. В зависимости от отраслей народного хозяйства принято выделять мелиорацию для целей сельского хозяйства; лесного хозяйства; водного хозяйства; здравоохранения и отдыха; градостроитель-

ства; транспорта; многоцелевые мелиорации. К последним относятся крупные мелиорации рельефа отдельных частей суши, мелиорации рек и шельфов морей.

В свою очередь каждая из мелиораций имеет разновидности. Например, мелиорации для сельского хозяйства, являющиеся основными, разделяются по объектам воздействия на природу следующим образом: 1) водные мелиорации, 2) снежные, 3) земельные, 4) фито- и зоомелиорации и 5) климатические мелиорации (Шульгин, 1980).

Из всего разнообразия мелиораций в практике народного хозяйства наибольшее внимание уделяется водным мелиорациям. В этой связи важное место в инженерно-геоморфологических исследованиях занимает оценка рельефа при орошении, обводнении и осушении территорий.

Водные мелиорации — это наиболее радикальные способы борьбы с засушливостью и избытком влаги, для рационального использования водных и земельных ресурсов. Свыше 50% поверхности суши занимают аридные и семиаридные земли, характеризирующиеся недостатком влаги. В нашей стране 3/4 пахотной земли расположено в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения. Гидромелиорации при научно обоснованном и высококачественном строительстве и эксплуатации систем позволяют устранить диспропорцию в соотношении природных факторов и создать оптимальный режим тепла и влаги, необходимый для земледелия.

При этом важно учитывать и возможные неблагоприятные природные явления на орошаемых землях, связанные высокими температурами воздуха, непромывным режимом почв, низкими фильтрационными свойствами и просадочностью грунтов зон недостаточного увлажнения. Это может привести к нарушению нормальной работы ирригационных систем, засолению и заболачиванию почв.

На стадии проектирования оросительной сети необходимо наиболее полно и рационально учитывать местные природные условия и характер связей между инженерным объектом и природными особенностями территории.

Для каждой территории важно определить специфические ведущие природные факторы, влияющие на строительство объектов мелиорации, выбрать участки и определить характер мелиоративных приемов. Чаще всего к числу ведущих факторов относятся рельеф, свойства грунтов и современные экзогенные процессы. От особенностей рельефа и микрорельефа зависят объем земляных работ, тип оросительной сети, способы орошения и техника полива земель, система ирригационных сооружений (водозаборы, водосборы, водоприемники).

При проектировании оросительной сети обычно учитываются расчлененность, уклоны территории орошения как целого, а также профили склонов (выпуклый, вогнутый, прямой). Положение орошаемого участка в пределах различных форм рельефа, рису-

нок его горизонтального расчленения определяют конфигурацию оросительной сети и план трассы оросительных каналов (прямые, ломаные, криволинейные).

Оптимальные уклоны для орошения определяются в 0,1—0,5%. Самотечное орошение невозможно, если уклоны менее 0,05%, а при уклонах 1—2% и более возможен размыв почв при условии полива вдоль склона. Для определения возможности самотечного орошения или необходимости подачи воды на некоторую высоту необходимы данные о гипсометрическом положении орошаемой территории по отношению к уровню источника орошения.

Инженерно-геоморфологические исследования предполагают оценку и картографирование оврагов, балок, ложбин, сухих русел, которые могут быть использованы под трассы магистральных каналов; котловин и крупных западин, которые можно использовать для регулирования стока и приема сбросных вод. Необходимы оценка потери воды в карстовых формах рельефа, возможность их фильтрации. Оценивается также стадия эрозионного развития речных долин, проявления глубинной и боковой эрозии, определяются характер наносов и меры защиты от размыва.

В зависимости от геоморфологического положения принято различать следующие типы оросительных систем: дельтовая, пойменная, террасовая, равнинная, предгорная, водораздельная (Звонкова, 1970).

Приморские дельты и дельты крупных рек отличаются большим содержанием органических осадков и интенсивно используются для орошения. В их пределах создают, как правило, прямоугольную ирригационную сеть и крупные поливные участки, на которых полив осуществляется затоплением и по глубоким бороздам.

Равнины отличаются большим разнообразием типов местности (аллювиальные равнины, различные уровни террас, поймы и т. п.), что отражается на технологии строительства оросительных систем. Например, оросительные каналы на аллювиальных равнинах прокладываются на специальных насыпях с предварительным уплотнением их ложа. Проводятся и другие противофильтрационные мероприятия. Уплотненный рельеф позволяет создавать участки правильной геометрической формы с минимальными объемами работ по вертикальной планировке.

В предгорьях орошение осуществляется главным образом на конусах выноса. В их периферийных частях в связи с близостью грунтовых вод возможно создание водохранилищ, используемых для орошения. Верхняя часть конуса сложена более водопроницаемыми породами и характеризуется глубоким залеганием грунтовых вод, что приводит к большим потерям на фильтрацию воды. Поэтому орошаемая территория на конусе выноса используется дифференцированно для разных видов сельскохо-

зййственных культур. Оросительные системы располагаются веерообразно.

В горных территориях орошение чаще всего производится на высоких террасах с хорошими условиями для водозабора и плодородными почвами. На горных склонах условия для забора воды труднее, поэтому здесь орошение проводится на небольших участках. В межгорных котловинах и достаточно широких горных долинах, на плато орошаются луга для отгонного животноводства.

Важное место при проектировании строительства и эксплуатации оросительных систем занимает микрорельеф территории. Под микрорельефом принято понимать поверхность с относительными высотами от 0,05 до 0,20 м. Если колебания высот больше 0,20 м, то поверхность неблагоприятна для орошения, так как в этом случае начинается растекание воды, переполняются и размываются поливные борозды, повышаются поливные нормы, появляется угроза засоления и заболачивания земель. Тщательный учет микрорельефа поливного участка может определять изменение направления посевов и, следовательно, поливных борозд с целью обеспечения оптимального уклона их дна. При вышешенных уклонах и значительном расчленении проводится планировка земель, объемы которой могут достигать 1000 м³ на 1 га, а стоимость планировочных работ нередко составляет до 35 % стоимости всего объекта.

Свойства грунтов определяют способы производства земляных работ, степень их размываемости и просадочности, скорости фильтрации воды в днища и борта капалов, степень засоления и заболачивания земель, глубину уровня грунтовых вод.

Особенно сложно проектирование оросительных капалов в районах развития просадочных пород. К геоморфологическим признакам просадочных пород, свидетельствующим о их пористости, способности к самоуплотнению, уменьшению объема и образованию при увлажнении значительных смещений грунта, относятся крупные просадки в виде трещин, террас проседания, воронок, блюдцеобразные западины без нарушений дернового покрова, развитые на мощных лёссовидных породах.

Просадки, как правило, образуются и распространяются на несколько десятков метров в сторону от оросительных капалов. Вертикальные смещения грунта в виде просадочных террас нередко достигают 2 м. По мере удаления от канала размеры вертикальных смещений грунта уменьшаются, и вдоль канала, наклоненные в его сторону, возникают невысокие просадочные террасы.

Анализ современных экзогенных процессов должен осуществляться не только на стадии проектирования оросительных систем, но и в период их эксплуатации. В Средней Азии, например, на первых этапах эксплуатации в оросительных капалах преобладала донная эрозия, углубившая их русла. После поднятия уровня воды плотинами начала активно проявлять себя

боковая эрозия, сместившая русло на десятки и даже первые сотни метров (до 200 м) в сторону от первоначальных трасс каналов.

Увеличение мутности воды и возрастание объема влекомых наносов привели к заилению и накоплению осадков в верхних бьефах плотин и дамб. При боковой эрозии в каналах часто наблюдались оползни и обрушения берегов, разрушение мостов, инженерных сооружений.

При проектировании каналов следует учитывать возможность заноса их песком, разрушения селями, активизации карстовых процессов и соответственно фильтрации вод и т. п. Все это требует выработки и принятия защитных мер от неблагоприятных процессов и явлений при эксплуатации оросительных систем.

Как показывает практика инженерно-геоморфологических исследований, при проектировании водных мелиораций целесообразно классифицировать территорию возможного орошения по категориям инженерной сложности (простые, сложные и очень сложные), а также по степени очередности реализации проекта орошения. В основу большинства классификаций территории по условиям их орошения положены геоморфологические принципы.

Для проектирования оросительной сети, а также последствий орошения и необходимых при этом видов мелиорации нужно составлять карту геоморфологического районирования по условиям орошения с учетом особенностей рельефа. Создание таких карт основано на выделении типов рельефа по морфотетическому и возрастному принципу. На картах выделяются типы древних и современных дельт рек, аллювиальных равнин, террас речных долин, подгорных пролювиальных шлейфов, конусов выноса и др. По установленному типу рельефа определяются тип оросительной сети, источник водоснабжения, различия в пространственной дифференциации почв и грунтов, направленность процессов миграции солей.

Каждый выделенный район отличается собственным набором инженерно-геоморфологических показателей. В его пределах должны быть сходные природные процессы, возникающие на стадии эксплуатации оросительных систем, а также определен характер мероприятий, необходимых для борьбы с неблагоприятными явлениями. Особого внимания требует выделение участков повышенной горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа, участки просядок и оползней, места с проявлениями засоления почв, развития карста и т. п. На таких территориях необходимы отступления от типового проекта инженерного сооружения.

Оросительные ирригационные системы — довольно сложные гидротехнические сооружения (Максимов, 1974). Они могут быть постоянно действующими или периодическими. В состав оросительной системы входят следующие звенья: 1) источник

орошения, питающий систему (обычно это река с зарегулированным или незарегулированным стоком); 2) головное сооружение, или водозабор, подающий воду из источника орошения; 3) магистральный канал; 4) распределители; 5) временные оросители; выводные каналы; поливные борозды; 6 — зеленые насаждения (рис. 5).

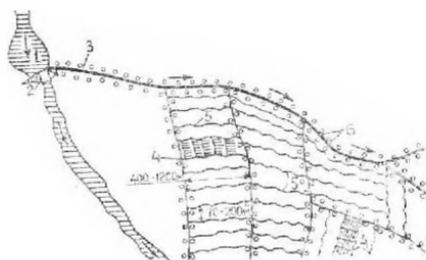


Рис. 5. Схема оросительной системы: 1 — источник орошения; 2 — головной узел; 3 — магистральный канал; 4 — распределители; 5 — временные оросители; выводные каналы; поливные борозды; 6 — зеленые насаждения

Для устойчивости источника орошения река, на базе которой проектируется орошение, часто регулируется путем постройки плотины и создания водохранилища.

Головные сооружения могут быть достаточно разнообразны по компоновке входящих объектов, что определяется природными условиями, масштабами сооружений, их назначением. В наиболее сложных ирригационных гидроузлах, кроме собственно водозаборов и регулирующих устройств, приходится возводить целые системы сооружений для очистки вод от наносов. Борьба с наносами в ирригационном гидротехническом строительстве представляет собой исключительно сложную проблему, которую решают с помощью специальных, весьма сложных и трудоемких мероприятий: промывания, сбрасывания наносов, их механического вычерпывания. Конструкции плотинных водозаборов весьма разнообразны, и по местоположению в рельефе их делят на горные, предгорные и равнинные.

На сочленении различных распределительных каналов оросительной сети располагают систему шлюзов-регуляторов и сбросных сооружений, позволяющих разводить воду по отдельным площадям орошения. Такие системы подпорных сооружений, регулирующих раздачу воды по потребителям, называют распределительными узлами. Вода поступает в оросительную сеть, состоящую из временных оросителей, выводных и поливных борозд. Поливные борозды нарезаются канавокопателями после обработки почвы и обычно одновременно с посевом. После весенней или осенней вспашки они перспахиваются и вновь нарезаются на следующий сезон.

В зависимости от особенностей рельефа в ряде случаев в ирригационной системе дополнительно строят различные сооружения, часто достаточно сложные инженерные конструкции: перепады, быстротоки, акведуки, дюкеры, тоннели, трубы, лотки и др.

Накопленный опыт проведения мелиораций свидетельствует

о том, что знание инженерно-геоморфологических свойств территории является одним из главных факторов при решении задач проектирования строительства и эксплуатации мелиоративных систем различного назначения и прежде всего водных мелиораций.

2.3.10. Рельеф и рекреация

К рекреационным принято относить территории, которые являются местами массового отдыха населения. В нашей стране в конце 60-х — начале 70-х годов сформировалась рекреационная география — самостоятельное направление, изучающее территориальные рекреационные системы (ТРС) (Преображенский, Веденнин, 1971; Лиханов, 1973; и др.).

Рельеф — один из самых существенных компонентов природного комплекса, влияющий на рекреационные свойства территории. Он оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие на рекреационную деятельность, а также часто играет роль непосредственного рекреационного ресурса.

Как важнейший компонент и основа ландшафта рельеф определяет физиономические черты данного природно-территориального комплекса. Хорошо известно, что эмоциональное и эстетическое воздействие ландшафта представляет важный фактор при оценке рекреационных особенностей территории. Рекреация и эстетическое восприятие окружающей природной среды неотделимы. Эстетическое удовлетворение часто бывает наиболее важной формой рекреации. Вопросы эстетики рельефа как одного из ведущих компонентов рекреационной «стоимости» территории получили заметное развитие благодаря исследованиям прежде всего литовских ученых (Экология и эстетика ландшафтов, 1975).

При рассмотрении влияния рельефа на рекреационное использование территорий необходимо учитывать также физиологический аспект, характеризующий комфортность природной обстановки для организма человека в связи с особенностями его жизнедеятельности.

Как непосредственный рекреационный ресурс рельеф должен оцениваться с точки зрения возможностей рекреационного строительства. Прежде всего это возможность строительства дорог, зданий и сооружений, имеющих обслуживающее, функциональное (непосредственно рекреационное) и привлекающее (аттрактивное) назначение.

Таким образом, изучение рельефа для целей рекреационной оценки территории предполагает его рассмотрение с точки зрения трех основных аспектов: технологического, эмоционально-эстетического и физиологического.

Изучение рельефа с точки зрения рекреации получило заметное развитие и в ряде зарубежных стран, в том числе и в Болгарии (Тимков, 1984; и др.).

Для того чтобы дать целостную оценку рекреационной ценности рельефа, наши болгарские коллеги обычно исходят из следующих его параметров: гипсометрия (абсолютные высоты и относительные превышения), уклоны местности (крутизна склонов), степень расчлененности (горизонтальное и вертикальное расчленение), экспозиция склонов. Эти основные морфометрические свойства рельефа определяют не только его индивидуальные орографические черты, но и характеризуют рекреационные свойства территории как на региональном, так и на локальном уровне. В совокупности перечисленные морфометрические параметры определяют рекреационные качества рельефа и в связи с этим подлежат соответствующей рекреационной оценке. Эти параметры могут быть приняты как характеризующие основные (или первичные) рекреационные свойства рельефа.

От них зависят важные рекреационные характеристики данной местности: проходимость, обзорность, разнообразие, природные достопримечательности. Это производные (или вторичные) свойства, характеризующие рекреационную ценность рельефа. Рекреационная ценность рельефа в свою очередь определяет возможные виды рекреационной деятельности (функции) и специализацию отдельных рекреационных территорий.

Проходимость (или доступность) территории определяет возможности ее использования для целей туризма, прокладки дорог, канализационной и водопроводной сетей, линий электропередачи и т. п. Степень проходимости территории определяет рекреационное устройство и экономические условия эксплуатации. Она характеризуется горизонтальным и вертикальным расчленением рельефа, преобладающими уклонами, наличием или отсутствием опасных явлений: оползней, осыпей, обвалов, лавин, селей, оврагов и др.

Обзорность территорий определяется ее абсолютными отметками и относительными превышениями, зависит от открытости горизонта, интенсивности вертикального и горизонтального расчленения. С обзорностью местности тесно связаны познавательный и эмоционально-психологический эффекты.

Разнообразие пейзажа выражается с помощью количественных показателей степени изрезанности (расчлененности) рельефа до горизонта, общим силуэтом местности, количеством и разнообразием видимых ландшафтов. Привлекательность, открывающаяся из пункта обзора панорамы, зависит от целого комплекса морфометрических свойств рельефа — разнообразия в абсолютных отметках местности, частоты смеси уклонов топографической поверхности, интенсивности вертикального и горизонтального расчленения, полноты спектра экспозиций склонов и т. д.

Природные достопримечательности — водопады, дороги на реках, обнажения коренных пород и другие объекты являются ценными рекреационными ресурсами.

Предложенная Х. Тишковым (1984) рекреационная оценка

рельефа помимо изучения его генезиса и современных экзогенных процессов основана на результатах морфометрических исследований в пределах изучаемого региона. Для каждого из выделенных морфометрических показателей принята последовательность процедур по пятибалльной шкале — оценки от 1 до 5 (рис. 6).

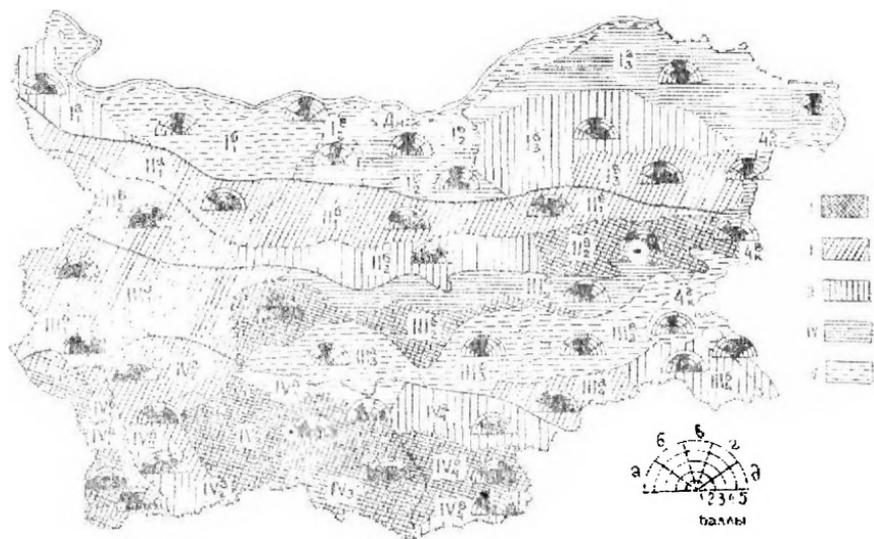


Рис. 6. Оценочная карта рельефа Болгарии как рекреационного ресурса (по Тишкову, 1984). Суммарная рекреационная оценка рельефа: I — наиболее благоприятный рельеф; II — значительно благоприятный; III — благоприятный; IV — менее благоприятный; V — относительно благоприятный. Рекреационная оценка в баллах: а — абсолютная высота; б — наклон склона; в — экспозиция; г — густота расчленения; д — глубина расчленения

Так, например, при анализе гипсометрии может быть выбран следующий принцип. Наиболее высокую оценку (5 баллов) получают территории, имеющие в наличии все высотные пояса, но с преобладанием низкого и среднегогорья. Самым низким баллом (1 балл) следует оценить территорию, где преобладает высотный пояс, представленный низменными равнинами. Высокие равнины, холмогорья, плато, занимающие различное гипсометрическое положение, получают соответствующий оценочный балл. Только в очень конкретных по гипсометрии регионах можно иметь все пять оценок балльности рельефа по его рекреационным свойствам.

Другой важный параметр рельефа, по мнению Х. Тишкова, густота горизонтального расчленения. Наиболее высокая балльная оценка (5) дается тем территориям, на которых густота горизонтального расчленения составляет 1,5—2,0 км/км². Вторая по значению оценка (в 4 балла) присваивается территории со значением расчлененности в 2,0—2,5 км/км². Наиболее высокие

оценки — 5 и 4 балла — получают районы с горным характером рельефа, в которых сочетаются прежде всего большая привлекательная (аттрактивная) ценность рельефа и в то же время относительно легкая доступность. С ограничением доступности, вопреки высокой аттрактивности, оценка уменьшается еще на один балл.

Самыми низкими оценками — 2 и 1 балл — характеризуются прежде всего монотонные равнинные территории, в которых доступность очень велика, но за счет этого аттрактивность рельефа, его эмоционально-психологическое воздействие резко уменьшаются.

Глубина вертикального расчленения определяется посредством измерения в метрах разницы в абсолютных отметках между самой высокой и самой низкой точками в пределах единицы площади. Эти количественные характеристики с помощью 5-балльных оценок дифференцируются в пределах исследуемого региона. Наиболее высокая оценка 5 баллов дается тем регионам, в которых вертикальное расчленение рельефа может, например, выражаться показателями от 100—200 до 200—300 м/км². Самая низкая оценка — 1 балл — может присваиваться территории при глубине вертикального расчленения менее 50 или более 400 м/км² (для территории Болгарии). Оценочный балл определяется прежде всего амплитудой вертикальной расчлененности рельефа.

Большой интерес представляет рекреационная оценка экспозиции склонов и местности. Для умеренных широт, где освещенность является рекреационным фактором, экспозиции склонов подразделяются на южную, западную, восточную и северную. От уклонов местности зависят количество солнечной энергии и освещенность склонов. За исходную величину в 100% принимается количество солнечной энергии, которое получает равнинная местность (субгоризонтальная поверхность). На высоких склонах южной и западной экспозиций сумма получаемой солнечной энергии превышает 100%, а на склонах северной и восточной экспозиций она меньше 100%. Оценка в баллах составляется примерно по следующему принципу: для равнинных местностей — 5 баллов, при преобладании южных склонов — 4, западных — 3, восточных — 2, северных — 1 балл. Для промежуточных экспозиций (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ) берется средняя величина, полученная как полусумма двух соседних основных экспозиций. Территории, оцененные с точки зрения экспозиции, показывают, что наиболее благоприятными для рекреации являются равнинно-холмистые области. Они имеют в этом отношении преимущества перед горными районами.

Уклоны топографической поверхности имеют важное значение для рекреации при определении степени проходимости и доступности территорий, при оценке рекреационного строительства, при организации рекреационно-спортивной деятельности (туризм, зимние виды спорта и др.).

Один из самых распространенных видов рекреационной деятельности — пешеходный туризм. В этом случае наиболее высокую пятибалльную оценку получают территории с крутизной склонов от 5 до 10° (от 8,8 до 17,5 %). Принимается, что подобные склоны благоприятны как с инженерно-строительной, так и с функционально-физиологической точки зрения. Оценка 4 балла характерна для склонов крутизной 10 — 20° (17,5—36,0%); 3 балла — для склонов 0 — 5° (8,8%), т. е. для равнинных территорий; 2 балла — для склонов в 20 — 25° (36,0—47,0%) и 1 балл — для склонов более 25° ($>47,0\%$).

Оценка каждого из основных морфометрических показателей в баллах позволяет создавать карты районирования, основанные на комплексной оценке рекреационного значения рельефа. Для этих целей на первом этапе строятся карты оценки рельефа по гипсометрии, горизонтальному и вертикальному расчленению, экспозиции, крутизне склонов. На втором этапе строится синтетическая морфометрическая карта, на которой выделяются районы, в разной степени благоприятные с точки зрения рекреационной ценности рельефа (см. рис. 7).

В основе оценок рельефа должен быть заложен функциональный принцип оптимального сочетания его свойств и параметров с видами рекреационной деятельности.

2.3.11. Рельеф и рекультивация нарушенных земель

Рекультивация — комплекс работ, направленных на восстановление хозяйственной, медико-биологической и эстетической ценности нарушенных ландшафтов. Основу рекультивации составляет комплекс инженерно-технических мероприятий по восстановлению рельефа нарушенной территории и приведению его к виду, обеспечивающему возможность дальнейшего хозяйственного использования земель.

Принято различать технический и биологический этапы рекультивации. Техническая рекультивация заключается в подготовке земель для последующего целевого использования в народном хозяйстве. Биологическая рекультивация состоит в реализации мероприятий по восстановлению биологических свойств, в частности плодородия земель, осуществляемых после технической рекультивации.

В зависимости от природных и социальных условий района, в котором нарушены земли, а также от вида нарушенной целинаправленность рекультивационных работ может быть различной. В настоящее время в рекультивации выделяются следующие направления: 1) сельскохозяйственное, заключающееся в подготовке нарушенных земель под сельскохозяйственные угодья; 2) лесохозяйственное, включающее подготовку нарушенных земель для создания на них лесных насаждений различного назначения; 3) строительное, состоящее в подготовке нарушенных земель к промышленному и гражданскому строительству;

4) водохозяйственное (включая рыбохозяйственное), заключающееся в подготовке нарушенной земной поверхности для создания на ней водоемов различного назначения; 5) рекреационное, состоящее в подготовке нарушенных земель под объекты отдыха; 6) санитарно-гигиеническое, сводящееся к консервации нарушенных земель, рекультивация которых для использования в народном хозяйстве экономически неэффективна (Брылов, Грабчак и др., 1985).

Наиболее сложной и трудоемкой является техническая рекультивация, связанная с большими материальными затратами, с перемещением и укладкой в определенном порядке больших масс торных пород и снятого перед разработкой месторождения плодородного слоя почвы. Современная техническая рекультивация нарушенных земель показывает, что успешное ее осуществление возможно, если, например, технологический процесс открытой разработки месторождений полезных ископаемых и рекультивация осуществляются единым технологическим комплексом, получившим название «вскрыша-рекультивация» (рис. 7).

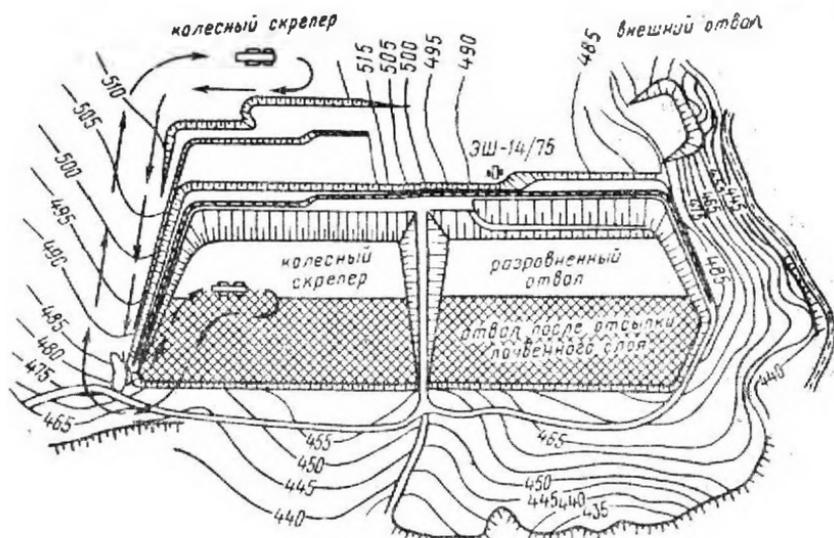


Рис. 7. Схема технологического комплекса «вскрыша — рекультивация» (по Брылову и др., 1985)

Поверхность нарушенных и рекультивированных земель представляет собой техногенный рельеф, который является объектом исследования антропогенной геоморфологии, сравнительно нового и важного раздела геоморфологической науки. Ей посвящена отдельная глава в настоящем учебном пособии. Здесь же важно отметить, что в связи с рекультивацией возникает ряд специфических проблем геоморфологического характера — описание элементарных форм техногенного рельефа, типология

и классификация нарушенных земель и техногенных форм, изучение влияния техногенных факторов на интенсивность рельефообразующих процессов, выявление роли и оценка масштабов естественных и техногенных факторов в формировании современного рельефа и его динамики во времени, разработка методов количественной оценки и картографирования техногенных изменений рельефа.

Техногенный рельеф следует рассматривать как производный от природного, а структура техногенных систем наследует иерархическую структуру природных ландшафтов и развивается под влиянием зональных рельефообразующих факторов.

Рекультивационный рельеф в свою очередь возникает в результате целенаправленного преобразования созданных ранее техногенных форм, образовавшихся в процессе проведения горных или строительных работ. Эти преобразования связаны с выполаживанием откосов отвалов и бортов карьеров, планировкой верхней поверхности отвалов или дна карьеров, покрытием, если это необходимо, сформированных наклонных и горизонтальных поверхностей плодородными почвами. В результате рекультивации техногенный рельеф, как правило, существенно преобразуется, становится более устойчивым, что важно для последующего инженерного и хозяйственного использования.

Выполаживание откосов отвалов и бортов карьеров осуществляется сплошным или террасированным способом; углы выполаживания выбираются в пределах от 5 до 20° в зависимости от вида рекультивационных работ, глубины карьеров и высоты уступов.

Планировка верхней поверхности отвалов при реализации сельскохозяйственного и строительного направлений рекультивации заключается в образовании сплошной ровной субгоризонтальной поверхности; при лесохозяйственной рекультивации допускается образование волнистой поверхности с чередованием участков одинаковой высоты. В соответствии с этим различают сплошную и частичную планировку поверхности отвалов. При сплошной планировке осуществляется полное выравнивание всей верхней поверхности с приданием ей одно- или двусторонних уклонов от 1 до 3° для площадей, на которых будут возделываться сельскохозяйственные культуры, и от 3 до 5° — для лесоразведения. При частичной планировке ровные участки могут перемежаться с возвышенностями, однако на поверхности не должно быть впадин и углублений, способных концентрировать атмосферные осадки и талые воды.

Вследствие различной плотности пород (уплотненных на участках, с которых снимались вышележащие породы, и разрыхленных на участках засыпанных впадин) после планировки происходит неравномерная усадка выровненной поверхности, особенно значительная при большой разности высотных отметок на техногенной поверхности до ее планировки. Это приводит к неоднократному повтору планировочных работ.

При водохозяйственном, строительном и рекреационном направлениях рекультивации спродфильтрованная поверхность восстанавливаемых участков (выположенные борта и дно карьеров, а также прилегающие к ним земельные участки) перекрываются не только почвой, но и песком, гравием или галькой.

Рекультивация карьеров и плоских отвалов, расположенных в балках и оврагах, сопровождается возведением гидротехнических сооружений (дамб, плотин и т. п.).

В ряде случаев до биологической рекультивации производится временное укрепление поверхности отвалов против водной и ветровой эрозии — озеленение, химическое упрочение поверхности известковым или цементным растворами, синтетическими смолами.

При создании рекультивационного рельефа следует использовать функционально-технологический подход, ориентированный на различные виды инженерно-хозяйственного освоения нарушенных земель.

3. ИНДИКАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

Анализ рельефа при инженерной оценке местности следует проводить по четырем основным направлениям: 1) изучение морфологии и морфометрии рельефа в соответствии с нормами строительства инженерных сооружений различного типа; 2) оценка рельефа при антропогенном преобразовании ландшафта; 3) оценка влияния на рельеф особенностей инженерно-геологической среды в разных структурно-геологических условиях; 4) оценка влияния геодинамических условий на ход строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Последние два по своему существу и составляют основу геоморфологической индикации в инженерной геоморфологии и могут быть реализованы в рамках индикационного подхода. Возможности любой индикации определяются наличием определенных генетических связей между явлениями. Эти связи могут быть прямыми, и тогда они раскрываются сравнительно легко. Косвенные связи раскрываются в индикации труднее.

Оценка особенностей инженерно-геологической среды в разных структурно-геологических условиях геоморфологическими методами является достаточно обоснованной, так как с момента ее зарождения в качестве главной прикладной области геоморфология имела геологическую съемку, поиски полезных ископаемых и т. п. Уже в классических работах В. Дэвиса и В. Пенка подчеркиваются разнообразные связи между рельефом и геологическим строением территории. Последний из них в качестве главной цели своего морфологического анализа видел выявление геодинамических механизмов, определяющих развитие структурно-тектонических элементов земной коры. В современной науке это направление получило развитие в рамках теории структурной геоморфологии.

Не менее известны связи рельефа с образованием рыхлых осадочных пород. В концепции известного советского литолога Н. М. Страхова (1962) рельефу наряду с климатом уделяется большое внимание. Он пишет, что главными факторами литогенеза являются климат и тектоника. А последняя проявляет себя через рельеф. Связь рыхлых отложений с рельефом давно уже изучается геоморфологами. И не остается сомнений в том, что экзогенные формы рельефа и рыхлые отложения тесно связаны друг с другом. Они образуются одновременно, в одних и тех же условиях и под действием одних и тех же факторов. Это хорошо подтверждается и в существующих генетических клас-

сификациях рыхлых осадков. Так, геоморфологи выделяют рельеф флювиального происхождения, литологи — отложения флювиального генезиса (делювиальные, пролювиальные, аллювиальные). Есть морской рельеф, и ему можно поставить в соответствие морские отложения. Это перечисление легко продолжить. Хронологические (исторические) и генетические совпадения в формировании рельефа и рыхлых отложений объясняются тем, что экзогенный рельеф образуется в ходе перемещения по поверхности Земли определенных видов потоков вещества, образованных в ходе разрушения горных пород, выходящих на дневную поверхность. Свойства вещества определяются свойствами исходных горных пород. А потоки возникают в результате гравитационной неустойчивости рыхлых образований на земной поверхности из-за наличия на ней шероховатостей разного порядка, т. е. благодаря наличию рельефа земной поверхности. Потоки могут быть собственно грунтовыми, когда движение обломочного материала представляет собой самопроизвольное гравитационное их перемещение. В другом случае это могут быть водно-грунтовые, воздушно-грунтовые, снежно-ледово-грунтовые потоки. Рыхлые породы осаждаются из потоков второго типа, фиксируя моменты преобразования особенностей их движения. Любое осадконакопление вызывает изменение рельефа. Зарождение грунтовых потоков приводит к денудации¹ пород и эрозии. При зарождении потоков возникает денудационный рельеф.

Отношения и связи между рельефом и рыхлыми отложениями хорошо изучены. Информация о свойствах и возрасте рыхлых отложений используется в геоморфологическом анализе. Наиболее полно их связь прослеживается между современным рельефом и самыми молодыми отложениями. По мере удаления от современности в глубь веков она становится менее надежной, так как часть геологической информации уничтожается. В ходе потери этой информации претерпевает изменение и рельеф: аккумулятивный рельеф может смениться денудационным и наоборот. В силу этого геоморфологу часто приходится восстанавливать утраченные черты рельефа. Наличие определенных связей между рельефом и рыхлыми отложениями позволяет по сохранившимся геологическим образованиям восстанавливать рельеф. Так же, как и наиболее устойчивые черты рельефа позволяют восстанавливать среду осадконакопления. Благодаря наличию этих связей в геоморфологии давно уже возникла отрасль знаний, совместно изучающая процессы формирования рельефа и рыхлых отложений, а сам этот комплексный процесс получил название морфолитогенеза.

Менее изученными остаются взаимосвязи между процессами рельефообразования, с одной стороны, и свойствами осадков, возникающими на поздних стадиях превращения осадков в гор-

¹ Денудация — лат. *denudatio* обнажение, оголение.

ные породы на стадиях диагенеза, катагенеза и метаморфизма, — с другой. Все эти изменения связаны с уплотнением осадка и преобразованием его вещества под действием давления вышележащих пород и высоких температур. Преобразование вещества, так же как и уплотнение пород, связано с изменением их объема. Сумма этих изменений не может не сказаться на положении земной поверхности, т. е. на рельефообразовании. Вероятно, в геоморфологии может возникнуть и соответствующее научное направление, объектом которого мог бы стать морфопетрогенез, или же он в качестве особой части войдет в уже развивающееся морфолитогенетическое учение.

Использование знаний о законах морфолитогенеза в инженерной геоморфологии могло бы стать базой для индикационного геоморфологического анализа, который уже активно развивается А. Л. Ревзоном (1984). В центре внимания пока находится анализ дистанционных материалов, дешифрируя которые, можно по экзогенным формам рельефа восстанавливать структурно-тектонические условия его образования. Или же, наоборот, выявляя на аэрофотоматериалах и космических снимках линейменты, определяют места возможного появления нежелательных экзогенных процессов.

Анализ опубликованных работ и прежде всего исследований А. Л. Ревзона и его группы позволяет выделить три главных предмета геоморфологической индикации: 1) свойства горных пород различного состава и происхождения, 2) структурно-тектонические особенности территории и 3) ареалы активно действующих экзогенных процессов.

Вывод такой: инженерно-геоморфологический анализ должен включать в себя и соответствующие разделы, раскрывающие связи между рельефом и геологическими особенностями территории. При выборе предмета индикации в этом случае следует обратить внимание на перекрытие задач инженерной геоморфологии и инженерной геологии. Известно, что оценка геологических условий строительства, в том числе анализ свойств горных пород, служащих фундаментом сооружений, и структурно-тектонических и геодинамических условий строительства является прямой задачей инженерной геологии. В ходе развития этой отрасли геологической науки накоплен большой арсенал знаний, разработана научная концепция, создана специальная методика исследований и, что самое главное, накоплен опыт общения между геологами (шриродоведами) и инженерами (проектировщиками и строителями). Последние выступают в роли потребителей инженерно-геологической информации. Можно думать, что для геоморфологических оценок свойств пород собственного места не осталось. Однако если детально проанализировать сложившуюся ситуацию, то можно увидеть, что это не так. Ведь в инженерной геологии в настоящее время активно внедряется использование самолетных и космических съемок материалов других видов дистанционного зондирования. Известно

стно, что на снимках распознаются только рельеф, растительность и водные объекты, а сами отложения не видны. Тем более прямо «прочитать» изменения их свойств нельзя. Таким образом, при инженерно-геологическом картографировании геологи вынуждены проводить анализ рельефа. И конечно же, совместными усилиями инженеров-геологов и геоморфологов можно добиться больших результатов в понимании связей между рельефом и свойствами горных пород. В инженерной оценке рельефа территории анализ этих связей может иметь и самостоятельное значение.

Традиционно сложилось, что геолог чаще всего поступает, как «геохirurg». Он вскрывает Землю буровыми скважинами, делает разрезы, «прослушивает» и «просматривает» земную кору, набирает образцы горных пород и подземных вод и газов, изучает их лабораторно, проводит испытания и дает свои заключения. Самым уязвимым в этих заключениях является то, что характеристика пород определяется в точке (образец по размерам подобен точке), а заключения делаются для массива горных пород, для ареала их распространения, выявленного в ходе геологических съемок. Геолог идет от точки к точке, интерполируя свойства пород между ними. В результате возникает представление о свойствах горных пород как о поле физических величин. Из этого следует, что внутри этого геологического поля свойства пород якобы изменяются постепенно. В то же время хорошо известно, что геологическое пространство далеко не однородно. Наряду с постепенными изменениями в нем наблюдаются перерывы и скачки в изменении свойств, чаще всего связанные с резкими фаціальными границами в горных породах или наличием в них различного рода трещин, смещений и др.

Геоморфолог в изучении своего объекта больше похож на «геотерапевта». Осматривая своего «больного» (исследуемую территорию), он видит ее целиком и, изучая каждую точку местности отдельно, может постепенно переходить от места к месту, точно фиксируя в пространстве резкие изменения тех или иных свойств рельефа. Вот почему, изучая латеральные закономерности изменения рельефа, геоморфолог видит и изменения в свойствах пород. При этом дефекты прочности горных пород обнаруживает сама природа: то, что непрочное, разрушается быстрее, становится добычей агентов экзогенного рельефообразования. Геоморфологическая оценка прочности массива горных пород или неоднородности механических свойств пород в ареале их распространения может оказаться существенным дополнением к геологической оценке местности. Таким образом, геоморфологические методы могут стать важным звеном инженерной оценки местности при переходе от точки к пространству, к контуру. Известно, что с увеличением площади ареала распространения, неоднородность свойств горных пород чаще всего увеличивается. Вероятно, в силу этого при поздних стадиях проекти-

рования инженерно-геологические оценки отдельных площадок, а не точек становятся все более предпочтительными и значимыми. Но следует помнить и о том, что эти свойства сильно изменяются в зависимости от того, в каком положении находится изучаемый объект по отношению ко всему геолого-геоморфологическому контуру.

Геоморфологические и геологические оценки территории, как правило, совпадают. Но не исключено, что они могут разойтись. В существующей практике приоритет отдается геологическим заключениям. Такова дань традиции. Целесообразнее, чтобы любое расхождение в оценках, полученных с помощью независимых методов, фиксировалось и служило объектом специального рассмотрения. Ведь причины расхождений могут быть различными, а совместный анализ одних и тех же причин может дать важные и, главное, более обоснованные сведения для практических рекомендаций. Расхождение заключений, полученных различными методами, — явление обычное в науках о Земле. Так, например, хорошо известна неоднозначность многих геофизических заключений. Однако они охотнее, по сравнению с данными геоморфологического анализа, используются для инженерных оценок. Отчасти в этом виноваты и сами геоморфологи, все еще весьма редко пользующиеся результатами физико-механического анализа свойств горных пород. И тут следует особо подчеркнуть, что только тесный союз и совместная работа геоморфологов и инженеров-геологов должны обогатить и науку и практику, сделав геоморфологические исследования и более количественными, и физически более полно обоснованными.

Достижению этой цели в инженерно-геоморфологических исследованиях должно способствовать развитие инженерно-геоиндикационного направления. По своему существу геоморфологическая индикация заметно отличается от геоморфологического объяснения. В центре внимания последнего — происхождение рельефа. С помощью его выясняется, насколько в образовании данной формы рельефа (или комплекса форм) проявляют себя свойства горных пород, новейшая тектоника или меняющиеся в пространстве и во времени ландшафтно-климатические условия. Геоморфологическая индикация решает как бы обратную задачу. Она должна определить, какими могут быть свойства пород, если рельеф имеет те или иные особенности. Аналогичные заключения геоморфолог обязан дать и в том случае, если он по рельефу восстанавливает структурно-тектоническое строение территории.

Большинство обратных задач не имеет однозначного решения. Иногда даже кажется, что оно по существу невозможно. Вместе с тем известно, что некоторые из обратных задач могут быть решены лишь при определенных начальных и граничных условиях. В геоморфологическом анализе обратные задачи четко не выделяются, но они, конечно же, существуют. Если иссле-

довать сначала свойства горных пород, новейшие тектонические движения и ход экзогенных процессов, затем рельеф, то можно получить представление о причинах разнообразия рельефа. Это и значит «решать прямые задачи». А обратные задачи — это, зная рельеф, делать заключения о свойствах горных пород, о тектонике и т. д. Отсюда индикационные геоморфологические задачи можно отнести к числу обратных. И, если это так, геоморфолог, предлагая их решение, обязан указать начальные и граничные условия, в пределах которых решение окажется справедливым. Поскольку геоморфологические задачи не записываются в виде уравнений, то и сами понятия — прямая и обратная задачи — отсутствуют.

Для того чтобы давать инженерно-геоморфологические рекомендации на геоиндикационной основе, если предметом индикации являются свойства пород, необходимо сначала тщательно проанализировать все прямые связи рельефа с процессом формирования и преобразования рыхлых отложений (диагенез, метаморфизм). Если предметом индикации является тектоника, то сначала следует выяснить все связи между тектоникой и рельефом. Это является основанием для реализации индикационного подхода в инженерно-геоморфологических исследованиях.

4.1. РЕЛЬЕФ И ОБРАЗОВАНИЕ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Образование рыхлых отложений — один из сложных природных процессов, протекающих на поверхности Земли. Свойства рыхлых отложений не остаются постоянными. Они меняются в ходе их зарождения, миграции и осадконакопления. Приповерхностная зона Земли, в которой происходят эти изменения, обычно называется зоной гипергенезиса (Ферсман, 1953). Установлено, что свойства рыхлых отложений зависят от: 1) состава исходных горных пород; 2) процессов выветривания; 3) условий возникновения, миграции, переложения и накопления осадков.

Наличие исходных горных пород — основное условие возникновения рыхлых осадков, определяющее их свойства. Рыхлые отложения в момент образования являются по существу измельченным аналогом этих пород. Влияние их особенно заметно в местах образования, где сходство рыхлых отложений с исходными породами особенно велико. С течением времени, если считать его от начала образования, это сходство уменьшается под воздействием процессов выветривания, характер которых в свою очередь приобретает новые качества при изменении ландшафтно-климатических условий.

Перемещение рыхлого вещества происходит в поле силы тяжести из-за наличия неровностей поверхности Земли, ее рельефа. Движение рыхлых образований имеет вид прунтовых потоков различного типа и может быть самопроизвольным или вынужденным. В первом случае гравитационное воздействие направлено прямо на обломок или их группу, и они приходят в движение в том случае, если преодолевают внутреннее трение и трение о подстилающую поверхность. Вынужденное движение связано с тем, что обломки могут быть захвачены движущимися юредами: водой, ветром, снегом или льдом. В этом случае образуются смешанные потоки вещества: водно-прунтовые, воздушно-прунтовые, грунтово-снежные и ледово-грунтовые. Иногда возникают и более сложные их комбинации.

Эти потоки где-то зарождаются, движутся, где-то останавливаются: в первых двух случаях наблюдается снос, а в третьем — накопление осадков. Остановка потока может быть временной, и тогда говорят о промежуточных коллекторах, отличая их от конечных. В ходе сноса и накопления рыхлого вещества неизбежно преобразуется и рельеф. Со временем сильно пересечен-

ная местность и ее рельеф, определивший места сноса, пути транзита и области накопления рыхлого вещества, может сильно измениться. Морфологические контрасты пропадут, и это наложит отпечаток на весь процесс формирования вещества. Поэтому рельеф наряду с исходными горными породами является важнейшим фактором и условием формирования рыхлых отложений. Поскольку два процесса — образование рельефа и рыхлых отложений — тесно связаны друг с другом, то можно их изучать раздельно, порознь или совместно, взаимосвязанно, и можно говорить о трех разновидностях этих процессов: литогенезе, морфогенезе и морфолитогенезе.

По условиям образования и превращения осадков практически на любой достаточно большой территории можно выделить три области: 1) область преимущественного сноса; 2) область преимущественного транзита и 3) область преимущественного накопления (постоянного или временного). Область сноса в рельефе занимает, как правило, возвышенные участки, крутые склоны, а иногда и верхнюю треть относительно пологих склонов. На большей части склонов осуществляется транзит. А в понижениях и во впадинах, в долинах средних и малых рек — накопление. Одним из самых главных видов воздействия рельефа на грунтовые потоки является то, что с изменениями рельефа связаны переходы от сноса (размыва) к транзиту, от транзита к накоплению и наоборот. В транзите из-за изменений рельефа обычно меняется скорость движения потока, что приводит к дифференциации перемещающегося вещества на более и менее подвижные компоненты.

Область, откуда осуществляется снос, в литологии принято называть терригенно-минералогической, или питающей провинцией. Границы разных питающих провинций определяются границами распространения отличающихся по составу коренных горных пород, а также и рельефом, разграничивающим области сноса и бассейны накопления. Сходство и различие терригенно-минералогических провинций, обнаруживаемое в свойствах рыхлых осадков, часто затушевывается процессами выветривания, которые наряду с материнскими породами и рельефом составляют важное условие и фактор морфолитогенеза. Правда, оно не является необходимым, так как существуют такие области сноса, где на поверхность выходят рыхлые нелитифицированные породы. Для начала их перемещения выветривание не является необходимым условием. Но и в этом случае их роль достаточно велика. Разрушая некоторые из обломков, они как бы усиливают те свойства вещества, которые облегчают его подвижность.

Территория, охватывающая ту или иную терригенно-питающую провинцию, обладает различным рельефом. Он может быть горным, в том числе высоко-, средне- и низкогорным, или равнинным. В пределах питающей провинции заметно изменяются глубина и густота расчленения рельефа и крутизна склонов.

В ее пределах можно выделить множество линий тока, которые следует рассматривать как потенциальные траектории движения вещества. Рассматривая траектории движения потоков, которые обычно начинаются у водораздельных линий, можно заметить, что по их падению располагается целая цепочка — звенья взаимосвязанных, но часто не похожих друг на друга процессов преобразования вещества. Свойства исходного вещества в каждом из звеньев претерпевают изменения. Они возникают и формируются под воздействием тех факторов и условий морфолитогенеза, которые присущи каждому звену в отдельности. Но вместе с тем процессы вышерасположенных звеньев оказывают влияние на ход процессов, расположенных гипсометрически ниже. Звенья морфолитогенеза между собой достаточно хорошо связаны и образуют комплексы, которые называют парагенетическими. Можно говорить о том, что каждому осадку соответствует строго определенный парагенетический комплекс звеньев морфолитогенеза. Чем больше размеры территории, тем большее число звеньев этого комплекса принимает участие в ходе формирования свойств рыхлых отложений, тем сложнее их пространственно-временная структура. По пути следования осадка от места его образования как потока к месту накопления свойства рыхлых отложений изменяются под влиянием все новых и новых факторов. При этом лишь в верхнем из звеньев мы имеем возможность наблюдать в чистом виде всю совокупность факторов и условий морфолитогенеза: коренные (или исходные) породы; факторы, преобразующие их свойства; условия, в которых протекает этот процесс. Ниже расположенный участок суши, следующее от водораздельного звена в морфолитогенезе, получает уже в какой-то мере измененное вещество, дальнейшая эволюция свойств которого протекает в других условиях и нередко под действием иных факторов. Конечно же, и в следующем звене может возникнуть новое вещество («свежие» обломки), которое будет менять свои свойства под влиянием только местных условий, не испытав преобразований, характерных для верхнего звена морфолитогенеза, и, как правило, обломки, поступившие в поток из питающей области второго звена, в парагенетическом комплексе моложе. Любой грунтовый поток, если он по пути своего следования обогащается все новыми и новыми обломками, представляет собой некоторую разновозрастную совокупность. В ее составе всегда можно видеть частицы, которые пришли в движение неодновременно, начав свой путь из разных частей питающей провинции.

Рассматривая тот или иной комплекс рыхлых отложений, нужно иметь в виду, что конкретный разрез раскрывает историю их образования только в месте наблюдения. Как правило, описывая осадки различного происхождения и возраста, мы выделяем отдельные слои или их последовательность. При этом исходим из того, что каждый лежащий выше слой занимает определенное место во временной последовательности событий и

располагается в разрезе по принципу «чем выше — тем моложе». Внутри слоя, при анализе составляющих его частиц, временных различий не делают, так как изучают процесс слоёобразования как более или менее одновременное геологическое событие. Хотя ясно, что слоёобразование может охватывать различный промежуток времени. Обычно его продолжительность изменяется от долей секунды до нескольких дней и даже месяцев, иногда образование одного слоя охватывает и больший промежуток времени. Свойства каждого слоя (механический, петрографический, химический составы образующих его пород, их пористость и другие свойства) по времени связываются с моментом (отрезком времени) слоёобразования. В палеогеоморфологическом анализе специалисты, как правило, решают обратную задачу — по свойствам осадка пытаются восстановить условия осадконакопления. Для совершенствования решений этих палеогеографических задач следовало бы обратить внимание на то, что слой, прослой, линза рыхлых осадочных пород состоят из некоторого набора обломков, каждый из которых прошёл свой собственный путь — траекторию движения, вступив в него в строго определенное время. И «время жизни» обломка в транзите (от момента его зарождения до момента образования слоя) может существенно отличаться от времени слоёнакопления. В каждом прослое могут существовать «обломки-долгожители» и «обломки-младенцы». Возраст обломков может существенно отличаться от возраста слоя и достигать нескольких порядков величин.

Рельеф терригенно-питающей провинции, определяя скорость движения обломков, сильно влияет на возрастную и генетическую однородность вещества каждого слоя. Свойства отдельных обломков, как это будет показано ниже, оказывают заметное влияние на свойства сформированных линз, слоев и даже толщ. Так, рельеф территории, определяя особенности образования, транзита и накопления рыхлых отложений, оказывает влияние и на процесс формирования отдельных частиц и их гетерохронных, кажущихся генетически и исторически однородных комбинаций.

Вещественный состав рыхлых отложений тесно связан с набором типов горных пород, выходящих на дневную поверхность в пределах терригенно-питающей провинции. Однако эта связь не является прямой. Вещественный состав рыхлых отложений тем ближе к составу исходных коренных пород, чем меньше размер области сноса и чем энергичнее этот снос осуществляется. Чем обширнее питающая провинция по размерам, тем больше эти различия. Получающийся при выветривании материал меняет свой состав в ходе его транзита и многократного пересотложения.

4.2. СОСТАВ ПОРОД ТЕРРИГЕННО-ПИТАЮЩИХ ПРОВИНЦИЯ И РЕЛЬЕФ

Коренные породы, выходящие на дневную поверхность, и рельеф тесно связаны между собой. Формирование горных пород, их свойства и пространственное размещение определяются особенностями возникновения и развития основных геологических структур. Последние в значительной мере определяют и ход процессов рельефообразования. Поэтому на поверхности Земли постоянно встречаются закономерные сочетания строго определенных комплексов горных пород и форм рельефа земной поверхности. Такие сочетания часто называют морфоструктурами. В настоящее время нет единого понимания этого термина. Его основоположник И. П. Герасимов (1946) предлагал морфоструктурами называть относительно крупные формы рельефа, созданные в результате взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов при ведущей роли последних. Это определение вызвало много возражений и породило дискуссию. И более правильным кажется определение, предложенное Г. И. Худяковым (1977), который в морфоструктурах видит объемные образования — тела, внешнее ограничение которых характеризуется дневной поверхностью и ее рельефом.

Каждому типу морфоструктур свойствен определенный комплекс горных пород. Он может быть представлен магматическими, метаморфическими и осадочными породами, в числе последних встречаются и рыхлые отложения. Свойства этих пород формируются в ходе их образования. Некоторые из этих свойств определяют и морфологический облик рельефа земной поверхности.

Магматические породы являются как бы исходными для всех остальных видов горных пород. Можно выделить принципиальную схему «кругооборота» явлений и их литологических следствий, состоящих из пяти основных звеньев: 1) породы магматического происхождения → выветривание → рыхлые образования; 2) рыхлые образования → транспорт обломков → осадконакопление → рыхлые осадки; 3) рыхлые осадки → диагенез → осадочные породы; 4) литифицированные осадочные породы → метаморфизм → метаморфические породы; 5) метаморфические породы → гилогенез → породы магматического происхождения (рис. 8). Известно, что существуют магматические породы, образованные в результате переплавления вещества мантии Земли, и породы, не прошедшие описанную выше последовательность явлений и преобразований в своеобразном «петрографическом кругообороте».

Все породы магматического происхождения принято разделять на группы, каждой из которых свойственны определенные пороодообразующие минералы, которые составляют основную массу вещества породы. Ниже эти данные сведены в таблицу (табл. 8).

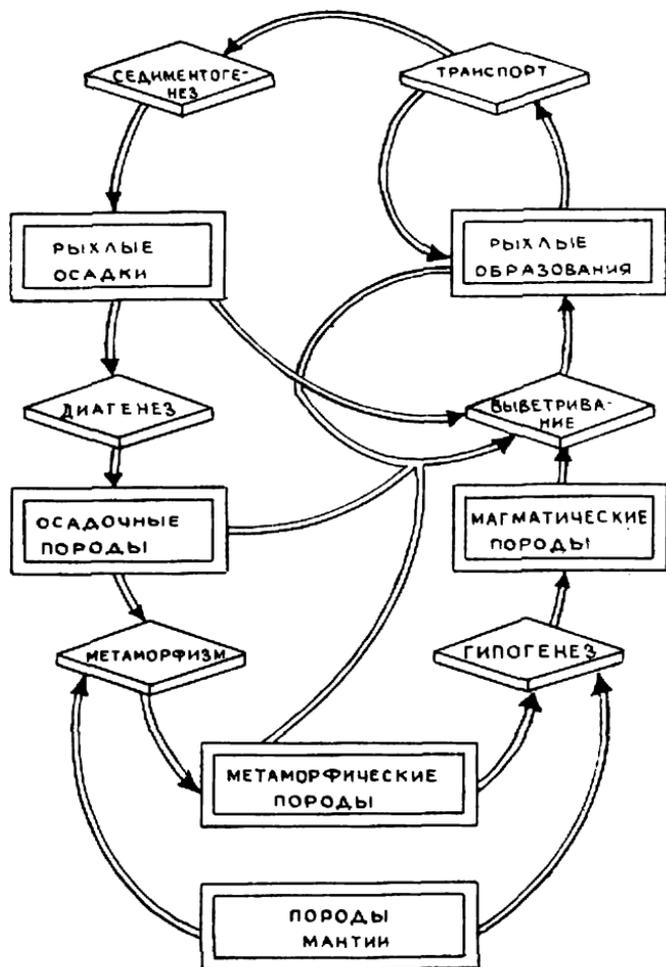


Рис. 8. Круговорот вещества в процессах литогенеза

Магматические породы характеризуются множеством тонких переходов от одной разновидности пород к другой. Выделяют много промежуточных их групп, например гранодиориты, граносиениты, трахиобазальты, трахиоандезиты. Такие переходы характеризуют постепенность изменения условий образования этих пород, различные соотношения глубин их образования, давления и температуры, наличия летучих компонентов, водяного пара и др. Но главное — они отличаются друг от друга в зависимости от типа магматических расплавов и стадии их эволюции.

Каждая группа магматических пород в рельефе земной поверхности выражена своеобразно. Селективное выветривание и денудация основных горных пород при достаточном расчленении, глубина которого достигает первых сотен метров, подчер-

Состав основных типов магматических пород

Типы пород	Группы пород	Название породообразующего минерала	Химическая формула минерала
Ультра-основные	перидотиты пироксенит дуниты	оливины	$(Mg, Fe)_2[SiO_4]$
		пироксены: диопсид, авгит	$(Ca, Mg)[Si_2O_6]$ $Ca(Mg, Fe, Al)[(SiAl)_2O_6]$
Основные	габбро базальты	плаггиоклазы: битовнит, лабрадор	$Ca, Na[Al_2Si_2O_6]$
		пироксены: гиперстен, диопсид	$(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$ $(Ca, Mg)[Si_2O_6]$
Средние	диориты андезиты дациты порфириды	роговая обманка	$Ca_2Na(MgFe^{+2})_4(AlFe^{+3})[(SiAl)_4O_{11}][OH]_2$
		плаггиоклазы: андезит олигоклаз	$(Na, Ca)[Al_3Si_3O_8]$ $Na(Ca)[Al_3Si_3O_8]$
Кислые	граниты липариты (риолиты) кварцевые порфиры	роговая обманка	$Ca_2Na(MgFe^{+2})_4(AlFe^{+3})[(SiAl)_4O_{11}][OH]_2$
		пироксены: авгит гиперстен	$Ca(Mg, Fe, Al)[(SiAl)_2O_6]$ $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$
		кварц	SiO_2
		кварц	SiO_2
		полевые шпаты микроклин	$(K, Na)[AlSi_3O_8]$
		плаггиоклазы: альбит биотит мусковит	$Na[AlSi_3O_8]$ $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, Fe]_2$ $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$
роговая обманка	$Ca_2Na(MgFe^{+2})_4(AlFe^{+3})[(SiAl)_4O_{11}][OH]_2$		
	пироксены: гиперстен	$(MgFe)_2[Si_2O_6]$	

живают структурную и петрографическую их неоднородность. Доминирующее в рельефе местности положение занимают самые прочные породы. Их противоденудационная стойкость (прочность) в значительной мере зависит от устойчивости к процессам физического и химического выветривания образующих эти породы минералов. Однако определяющую роль в характеристике их стойкости играют пористость и трещиноватость. Последняя в значительной мере зависит от положения этих пород в системе тектонических структур. При прочих равных условиях молодые породы являются более прочными по отношению к породам того же состава, но более древним по возрасту; тонкозернистые породы прочнее крупнозернистых; темнокрасные быстрее разрушаются, чем светлокрасные. Наличие таких минералов, как слюды, сульфиды, флюорит и некоторые другие, снижает прочность породы.

На прочность пород оказывает большое влияние их положение в рельефе. У основания крутых склонов и в вершинном поясе гор породы испытывают дополнительное напряжение, и поэтому они более трещиноватые и менее прочные.

Состав минералов, образующих магматические породы, определяет и их химический состав. В силу этого и минералогический и химический составы рыхлых отложений, образованные из магматических пород, сильно зависят от их типа. Так, ультраосновные и основные породы будут давать обломочный материал, совершенно не похожий на материал, который образуется из средних и кислых пород.

Приведем типичное соотношение химического состава горных пород по наиболее распространенным группам его элементов (табл. 9).

Таблица 9

Химический состав магматических пород

Типы пород	Химический состав пород								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Ультраосновные	42,07	0,35	5,51	2,94	8,58	31,66	6,14	0,56	0,17
Основные	50,16	1,64	18,54	1,88	9,29	5,97	7,90	2,72	0,80
Средние	58,96	0,75	18,20	3,79	2,08	2,16	5,35	4,36	3,05
Кислые	69,37	0,25	16,55	2,23	2,18	1,58	2,06	2,53	2,42

Метаморфические породы. Процессы метаморфизма разнообразны. Они меняются с глубиной, так как изменяется температура и давление. При этом к очагу метаморфизма могут поступать газы и водяной пар. Обычно выделяют: аутометаморфизм, аллометаморфизм без привноса вещества, аллометаморфизм с привносом вещества, мигматизацию (Лучицкий, 1949).

Аутометаморфизм обычно наблюдается при остывании нагретых пород и при старении осадочных или магматических пород. Для остальных видов метаморфизма необходимы определенные условия. При тектонических опусканиях порода, находившаяся на поверхности, может испытать изменения, обусловленные термо- и динамометаморфизмом. Изменения каждый раз захватывают только определенную группу минералов. При росте давления и температуры (прогрессивный метаморфизм) появляются минералы с большим удельным весом и более тугоплавкие. При уменьшении давления и падении температур, например, при тектонических поднятиях с одновременной денудацией, также замечено изменение пород (регрессивный метаморфизм, или диафорез).

В земной коре выделяют четыре зоны метаморфизма в зависимости от глубины (воздействие давления и температуры): эпизона, мезозона, катазона и зона палингенеза, или магматизации.

В эпизоне в условиях небольших давлений и температуры в породах содержатся минералы, имеющие в своем составе гидроксильный ион ОН. Для нее типичны эпидот, цоизит, серицит, биотит и др. Обычна сланцевая структура. В мезозоне повышаются давление и температура и становятся типичными аптофиллит, актинолит, роговая обманка, содержащие ион ОН, а также дистен, ставролит, альмандин, пироп. Сланцевая структура становится менее отчетливой. В катазоне температура приближается к температуре плавления. Сланцеватость становится менее заметной. Породы приобретают пластичность. Типичны минералы — силлиманит, альмандин, оливин, пироксены, пироп, кордиерит, шпинель, анортит и др. В зоне палингенеза (магматизации) породы могут переходить в расплавленное состояние.

Иногда в проявлениях метаморфизма выделяют фашии. В основу принята классификация фаций, предложенная в 1939 г. Эсколой. Соотношение этих функций лучше представить в виде таблицы (табл. 10).

Таблица 10

Классификация минеральных фаций (по Эсколе)

	Падение температуры в земной коре	
	магматические фации	метаморфические фации
Повышающееся давление в земной коре	сандшитовая диабазовая пироксен-роговиковая габбровая	образование цеолитов эпидот-амфиболитовая фиболитовая
	гранулитовая эколитовая	зеленосланцевая амфиболитовая амфиболгаббровая глаукофансланцевая

В литературе встречаются и другие подходы в выделении фаций метаморфических пород.

В ходе метаморфизма могут изменять свой состав как магматические, так и осадочные породы. В первом случае говорят об ортометаморфических, а во втором — о параметаморфических породах. Типичными породами метаморфического происхождения являются гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, мраморы, филлиты и др.

Минералогический и химический составы метаморфических пород зависят от фации метаморфизма, от их исходного состава и от тех процессов, которые протекают на глубине.

Метаморфические породы выходят на дневную поверхность на щитах древних, реже молодых платформ и типичны для высоких возвышенностей равнинных территорий. Обычно щиты являются одной из разновидностей активизированных в прошлом

предгорий или тектоническими выступами фундамента на равнинах. Встречаются они и в горных странах, особенно в активизированных горных системах областей древнего рифейского, каледонского и герцинского горообразования. Низко- и средне-температурные их фации нередко встречаются и в молодых горах. Типичны они для контактных зон, примыкающих к разновозрастным интрузиям.

В рельефе метаморфические породы выражены различно. Плотные, массивные, крупнокристаллические породы обычно слагают возвышенные части горных массивов; сланцы, особенно слюдястые, разрушаются быстро, и их поверхность в рельефе представлена понижением. Окварцевание, контаминация (т. е. плавление пород на горячих контактах) приводят к укреплению пород, и они образуют положительные формы рельефа. Ослабленными и выраженными отрицательными формами рельефа часто оказываются зоны гидротермально измененных пород. Выраженность их в рельефе в значительной мере зависит, как и у пород магматического происхождения, от трещиноватости. В областях развития горных пород, измененных глубоким региональным метаморфизмом, многие мелкие трещины оказываются «залеченными». И это находит свое отражение в рисунке гидрографической сети и в уменьшении густоты горизонтального расчленения.

Породы осадочного происхождения. Они возникают из рыхлых отложений в ходе их диагенеза. Обычно выделяют морские и континентальные породы, которые делятся на обломочные, хемогенные и органогенные. Их происхождение и свойства сильно зависят от ландшафтно-климатической обстановки, рельефа территории и времени их образования. Подробнее они будут описаны ниже. От рыхлых отложений они отличаются большей плотностью и наличием цемента, связывающего отдельные частицы в монолитное целое. Состав цемента может быть карбонатным, кремнистым, железистым или комбинированным. Цемент может быть растворимым или слаборастворимым. Иногда он заполняет лишь поры между частицами — тогда его называют поровым, или он занимает основной объем породы, а в него как бы погружены отдельные зерна, которые не соприкасаются друг с другом. Эта разновидность цемента называется базальной.

Осадочные породы встречаются преимущественно на равнинах, но нередко они и в горах. Их прочность различна и зависит как от свойств пород и минералов, образующих обломки, так и от состава цемента. Они занимают самое различное положение в рельефе. Прочность осадочных пород изменяется от места к месту. Нередко друг на друге залегают слои пород различной прочности. В этом случае в рельефе хорошо видны структурные его формы или их сочетания: куэсты, ступенчатые плато, структурные террасы, отпрепарированные ядра складок и др.

Различия противоденудационных свойств магматических, метаморфических и осадочных пород создают основу для их геоморфологической индикации. Однако, прежде чем перейти к анализу ее возможности, необходимо рассмотреть свойства рыхлых отложений и проанализировать, как, каким образом они возникают и формируются.

4.3. РЕЛЬЕФ И РЫХЛЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Рыхлые отложения обычно характеризуются происхождением, возрастом и вещественным составом. Как уже было показано выше, рыхлые отложения возникают одновременно с рельефом и под воздействием одних и тех же факторов. Между рельефом и рыхлыми отложениями прослеживаются два вида отношений: корреляция и конформность (совпадение).

Коррелятные отношения возникают между рельефом области сноса и осадками, которые были вынесены из области сноса и накопились в смежной области аккумуляции. Такие отложения называют коррелятными. По коррелятным отложениям восстанавливают не только ход их накопления, но и последовательность событий в области денудации. Так, например, овраг — это денудационная форма рельефа. Пролувиальные отложения конуса выноса коррелятны оврагу, так как формируются за счет выноса материала, возникающего в ходе его роста.

Иные отношения имеют место в пределах форм рельефа аккумулятивного происхождения. В них каждый акт накопления осадка одновременно же является актом рельефообразования, т. е. они совпадают и в пространстве и во времени. Накопившийся слой осадка меняет одновременно и форму поверхности. Такие отношения называются конформными. Конформные отношения могут возникать между рельефом и литифицированными осадками. Они обычны в областях денудации. Это становится особенно заметным тогда, когда рельеф пропаривает геологические тела, подчеркивая в своей пластике морфологический облик геологической структуры. В этом случае мы чаще говорим о структурном рельефе, подчеркивая, что это вариант пассивного приспособления рельефа к структуре субстрата. Представляется, что избирательная денудация, создающая конформный структурный рельеф, может выделять не только черты пассивной геологической структуры, выявляя литологическое разнообразие в противоденудационных свойствах пород. Податливыми к денудации могут быть и тектонически ослабленные зоны, представляющие разнообразными сочетаниями зон дробления, трещиноватости и др. В этом случае пространственная локализация элемента рельефа определена дизъюнктивной тектоникой. Однако процессы избирательной денудации обнаруживают их с помощью тех же механизмов, что и при ускоренной денудации литологически непрочных пород.

И наконец, есть еще один вид конформных отношений меж-

ду рельефом и геологической структурой. Так, в ходе активного препарирования геологической структуры возникают своды — складки большого радиуса. Они могут находить прямое отображение в рельефе. Поэтому в рамках конформных отношений в областях денудации можно выделить три типа морфоструктур: литоморфоструктуры (их подчеркивают структурные формы рельефа); тектолитоморфоструктуры (их подчеркивают линейменты — формы рельефа, заложившиеся вдоль зон дизъюнктивов); тектоморфоструктуры (их подчеркивают тектонические формы рельефа).

Рельеф областей денудации и аккумуляции, как правило, разделен зоной транзита и образованием промежуточных коллекторов. Свойства рыхлых отложений в областях денудации, транзита и аккумуляции заметно отличаются. Это связано с процессами выветривания и многократного переотложения наносов. В результате неоднократного переотложения из потока рыхлого вещества выпадают относительно крупные и тяжелые обломки преимущественно стойких горных пород. Более мелкие выносятся быстрее и дальше, опережая менее подвижный крупнообломочный материал. Химически нестойкие минералы переходят в растворы (ионные и коллоидные) и осаждаются лишь при определенных геохимических условиях. Эти процессы нередко накладываются друг на друга, затушевывая главную тенденцию изменений свойств рыхлых отложений на разных этапах рельефообразования.

Выветривание и сортировка рыхлых отложений — это два главных процесса, которые связывают свойства рыхлых отложений с рельефом. Молодой, резко расчлененный рельеф создает возможность для переноса больших масс рыхлых отложений. В ходе своего транзита обломки в этом случае не успевают сильно измениться под воздействием физических и химических преобразований исходного вещества, а высокие скорости денудации и транзита неблагоприятны для сортировки. Однако этот процесс контролируется выветриванием. Если его скорость невелика и запасы рыхлого вещества отсутствуют, то массового перемещения не образуется. Отсюда можно сделать вывод о том, что один лишь рельеф еще не обеспечивает возникновения тех или иных свойств рыхлых отложений. Выветривание зависит от свойств коренных пород и от их состава, от ландшафтно-климатических условий и от рельефа, который перераспределяет по поверхности тепло и влагу и обеспечивает скорость обновления экспозиции горных пород. Таким образом, рельеф может оказывать влияние, прямо или косвенно регулируя процессы разрушения исходных пород.

В процессе выветривания формируются обломки определенного размера. Крупные обломки по своему минералогическому и химическому составу не отличаются от состава исходных пород. Гранулометрический и минералогический составы обломков связаны друг с другом. В свойствах рыхлых отло-

жений большое значение имеет их пористость, которая, как правило, связана с размерами обломков. Кроме того, очень важным оказывается состав комплекса поглощенных оснований, сильно зависящий от геохимической обстановки в терригенно-питающей провинции.

Характеристику свойств рыхлых отложений удобнее всего начать рассматривать с их гранулометрического состава.

4.3.1. Гранулометрический состав рыхлых отложений и рельеф

Все рыхлые обломочные породы отличаются друг от друга по размерам образующих их обломков. По крупности обломки подразделяются на следующие гранулометрические классы или группы фракций:

глина	$< 0,001$ мм
алеврит	$0,001—0,05$ мм
песок	$0,05—2,0$ мм
хрящ (или гравий)	$2,0—10$ мм
щебень (или галька)	$1—10$ см
валуны	$10—100$ см
глыбы	$1—10$ м
блоки	более 10 м

Размер обломков определяется по среднему диаметру. В каждом из них можно определить длину — a , ширину — b и толщину — c . Средний диаметр приблизительно соответствует ширине. Разделение на фракции проводится расситовкой на стандартном наборе сит, а для более тонких фракций — отмучиванием в воде. Данные анализа заносятся в таблицы, а затем проводится статистическая обработка этого материала: определяются средний размер — Md , коэффициент сортированности — S_0 , эффективный диаметр — M_{10} и ряд других параметров.

Факторы, определяющие гранулометрический состав. Из литологии осадочных пород известно, что формирование рыхлых грунтов проходит различные стадии, начиная от процессов выветривания и заканчивая процессами превращения осадков в породу. В каждом из них существуют свои собственные процессы и действующие факторы, накладывающие отпечаток на гранулометрию осадка. Рассмотрим несколько подробнее каждую из фаз.

Выветривание принято разделять на физическое и химическое. Физическое выветривание пород, их механическое дробление осуществляется за счет колебания температуры, замораживания воды, роста солей на трещинах, давления корней и т. п. Принято считать, что процессы физического выветривания несложны, и им, как правило, уделяется незначительное внимание. Думается, что это несправедливо и является следствием плохой изученности механизма процесса. В последнее время

замечается некоторый перелом в этом вопросе. Это прежде всего видно в попытках выделения различных процессов.

Еще Л. В. Пустоваловым (1940) было замечено, что в результате физического выветривания то образуются четко ограниченные (ребристые) обломки, то, разрушаясь, порода образует комочки неправильной формы (гранулы). Для последних он предложил название «гранулированное выветривание». Как видно из названия, в основу выделения здесь положены различия в форме продуктов выветривания. Продолжая линию, намеченную еще Л. В. Пустоваловым, можно заметить, что продукты выветривания разных размеров неодинаковы по их форме. Сравнивая обломки различной формы и величины — валун и хрящ, можно поставить вопрос: могли ли столь непохожие объекты возникнуть под воздействием одних и тех же факторов и по одинаковым законам? Можно ли говорить о происхождении не только толщ, но и частиц?

Исследование этого вопроса в условиях Забайкалья (Симонов, 1972) показало, что можно выделить следующие виды физического выветривания (виды процессов образования частиц в ходе механического дробления породы): камнеобразование, хрящеобразование, пескообразование и пылеобразование.

Для каждого из этих видов имеются определенные черты, отделяющие его от смежных. Камнеобразование — процесс, при котором крупные обломки граненой (ребристой) формы получаются путем раскрытия плоскостей трещин, созданных главным образом тектоникой. Раскрытие трещин, как показали исследования Б. В. Щанцера (1966), происходит под воздействием плечной воды, а затем и других факторов разрушения.

Хрящеобразование — процесс возникновения средних по размерам обломков за счет сочетания сферических и радиальных трещин. Этот процесс требует дальнейшего изучения. В числе причин, с которыми они могут быть связаны, следует назвать длительное нагревание или охлаждение. Возникновение трещин и начальная стадия этого процесса приводят к образованию «плитного камня». Иногда этот процесс называют процессом сапролитизации.

Пескообразование — преобразование мелких обломков из полиминеральной моноплитной породы или ее частей в зернистую рыхлую породу. В конце этой фазы каждое зерно имеет мономинеральный состав. Разрушение мелких зерен не может иметь термоупругую природу.

Пылеобразование — дробление мономинеральных зерен.

Рассматривая физику каждого из этих процессов, необходимо сопоставлять упругие свойства минералов, термические и другие напряжения, возникающие в ходе дробления.

В результате химического выветривания образуется глина. В ходе химических превращений особенно существенны процессы окисления, восстановления, гидролиза, гидратации и более сложный — гипергенный метасоматоз. Химическое выветрива-

ние и его интенсивность зависят от соотношения тепла и влаги и подчиняются географическим закономерностям.

Подготовленный выветриванием материал может длительное время оставаться на месте, принимая участие в формировании элювия и коры выветривания, или вовлекается в движение различными агентами денудации. Исходный гранулометрический состав, возникающий в процессе выветривания, претерпевает некоторые изменения. В ходе перемещения материала происходит его сортировка в две фазы. Первая приходится на начало движения. Наиболее удобно проследить этот процесс в ходе перемещения материала водными потоками. Известно, что конкретный поток обладает строго определенной в каждый момент времени скоростью и способен перемещать наносы лишь определенной крупности. Если в результате процессов выветривания возник материал полифракционный, то в зоне его контакта с водным потоком осуществляется сортировка. Тонкий материал вовлекается в движение и переносится далее как взвешенный, полувзвешенный или влекомый. А более грубый остается на месте, формируя отмостку, или дерлювий, что предохраняет подстилающий его материал от дальнейшего размыва. Таким образом, в первую фазу сортировка приводит к разделению продуктов выветривания на две части: транспортабельные и нетранспортабельные наносы.

Вторая фаза сортировки осуществляется в зоне аккумуляции материала. В этой зоне сортировка и степень ее совершенства зависят от темпов падения скорости потока. Если скорость течения падает постепенно, то сортировка происходит также постепенно и имеет более совершенный характер. Из потока постепенно извлекаются фракции различной крупности: вначале выпадают более грубые обломки, затем все более тонкие. Текучая вода распределяет их по наклонной плоскости в виде зон осадков различной крупности. Если скорость падает резко, то сортированность полученного (выпавшего из потока наносов) материала будет несовершенной и рядом с крупными обломками будут находиться более тонкие частицы.

Может так случиться, что поток наносов сгружает весь материал в бассейн со стоячим характером вод (озеро, залив, море). Тогда в вертикальном столбе жидкости сортируются наносы по их крупности. В соответствии с законами Стокса более крупные частицы опускаются на дно несколько раньше, чем тонкие. Произойдет разделение по крупности частиц на разные фракции. Однако оно может оказаться недостаточно полным, если столб воды (глубина водоема) окажется небольшим. Отложения неглубоких водоемов обычно характеризуются малой сортированностью.

Рыхлые отложения других генетических типов образуются по той же схеме, осуществляя сортировку в два этапа: 1) в момент его захвата и 2) в момент его отложения. Совершенство сортировки зависит от ряда факторов: степени сортированности

исходного материала; скорости движения среды; ее вязкости и удельного веса вещества среды и обломков.

Естественно предполагать, что чем больше сортирован исходный материал, тем совершеннее сортированы и его производные. Скорость движения среды оказывает влияние на тип движения. Сортированность материала, созданного ламинарным потоком, будет совершеннее, чем у турбулентного. Для турбулентного движения характерна пульсация скоростей. Это обязательно скажется в понижении степени сортированности.

Вязкость сортирующей среды определяет скорость выпадения осадков. Большая вязкость ухудшает степень сортированности: удельный вес вещества той среды, в которой осуществляется сортировка, на степень сортированности влияния не оказывает.

Сортированность осадка определяет наряду с другими его свойствами сопротивление рыхлых отложений дальнейшему размыву, т. е. оказывает влияние на устойчивость территории. В частности, особенно заметно влияние сортированности на такие свойства грунтов, как пористость, объемный вес, которые в свою очередь определяют водные, термические и механические свойства осадков.

Обработка результатов гранулометрического анализа. Для определения гранулометрического состава в поле из скважин, шурфов или естественных обнажений берутся образцы, или пробы. Чем более грубый материал, тем большую по размеру пробу следует взять. Для песков и более тонких образований достаточно несколько граммов породы. Для хряща (гравия) требуются десятки и сотни граммов. А для валунно-щебенистых образований образец должен иметь вес в несколько десятков килограммов. Размер проб определяется соответствующими инструментами.

Отобранный материал этикетуется, укладывается и регистрируется в журнале взятия проб и отправляется в лабораторию. В лаборатории он пропускается сначала через сита. Тонкие фракции разделяются в водной среде. Затем каждая фракция взвешивается, и в таблицу заносится процентное содержание каждой фракции от общего веса образца. Далее таблица обрабатывается для получения некоторых параметров грунта. Наиболее четко определяются средний диаметр частиц (Md), сортированность (S_o) и эффективный диаметр (Q_{10}).

Обработка таблиц гранулометрического анализа проводится в соответствии с поставленной целью. Обычно строится гистограмма или кривая распределения фракций, несколько реже строится треугольник Фере. С помощью треугольной диаграммы результат анализа удается показать точкой, а серии анализов — полем точек. Наиболее четко результаты анализов обрабатываются с помощью кумулятивной кривой (рис. 9). Ее построение позволяет сразу получить средний и другие характерные диаметры (Md , Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90}), которые в дальней-

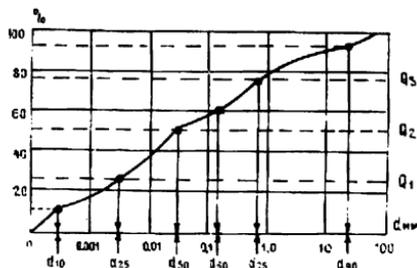


Рис. 9. Кумулятивная кривая гранулометрического состава и характерные точки, которые используются в оценке сортированности

шем используются для различных расчетов. Серии гранулометрических анализов позволяют получить поля кумулятивных кривых, по форме которых можно судить о степени сходства анализируемых грунтов.

Характерные диаметры используются для построения специальных карт, а также для расчета различных показателей сортированности: их предложено несколько. Широко используются показателем сортированности Траска — Рухина S_0 , показателем неоднородности (несортированности) Хазена η , показателем сортированности песков S_p . Все они имеют близкую математическую структуру. Для их построения используют параметры, полученные с помощью кумулятивной кривой.

Наиболее типичным в этом отношении и наиболее часто используемым является показатель сортированности Траска, построенный с помощью квантильных диаметров. Если на графике кумулятивной кривой, начиная от оси ординат, провести три линии, параллельные оси X , так, чтобы они находились на равном расстоянии друг от друга, то они разделяют кумулятивную линию на четыре равные по объему части (квантили). Пусть нижняя, или первая, квантиль Q_1 пересечет кумуляту в точке, соответствующей d_{25} . Чтобы получить линейные размеры диаметра частиц, соответствующие этой точке, достаточно из нее опустить перпендикуляр на абсциссу и по шкале X получить искомую величину. Аналогично находятся точки пересечения квантилей второй Q_2 и третьей Q_3 . Точке пересечения второй квантиле будет соответствовать размер частиц с диаметром d_{50} , а третья квантиль в точке пересечения позволит найти и третий важный параметр d_{75} (см. рис. 9). Параметры d_{25} и d_{75} получили название квантильных диаметров, а Q_{50} равен среднему диаметру и обозначается индексом Md . Траск предложил определять степень сортированности (несортированности) как отношение квантильных диаметров

$$S_0 = \frac{Q_3}{Q_1} = \frac{d_{75}}{d_{25}},$$

где S_0 — коэффициент сортированности; d_{25} и d_{75} — квантильные диаметры,

По рис. 9 коэффициент сортированности можно определить следующим образом. Получим d_{25} и d_{75} . Они соответственно оказались равны $d_{25} = 0,003$; $d_{75} = 0,85$. Тогда

$$S_0 = \frac{d_{75}}{d_{25}} = \frac{0,85}{0,003} = 283,3.$$

Аналогично определяет коэффициент сортированности (несортированности) с помощью корня квадратного из того же отношения Рухин:

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}},$$

Близки по своей структуре показатель несортированности Хазена η и коэффициент сортированности песков Фадеева S_p . Они только используют другие характерные диаметры:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}; S_p = \frac{d_{90}}{d_{10}}.$$

Авторы этих четырех коэффициентов, широко внедрившихся в практику, стремятся с помощью двух точек охарактеризовать интегральную кривую механического состава. Поскольку это в принципе невозможно, то, естественно, во всех четырех показателях содержится ряд неопределенностей. Так, наиболее несортированный образец (совершенно несортированный образец) не занимает в шкале выбранных мер крайнее значение, хотя эти коэффициенты могут менять свое значение от единицы (абсолютно сортированный грунт) до бесконечности. Показатель сортированности наиболее неоднородного грунта K_n в этой системе отсчета всегда будет занимать конечное положение:

$$1 < K_n < \infty.$$

В силу этого следует думать, что эти коэффициенты вообще не описывают сортированности, а характеризуют какие-то другие свойства грунтов.

На практике употребляются и другие методы для определения сортированности: метод Свирьстроля, метод А. П. Дедкова и Г. П. Бутакова. Однако и они не приводят к решению проблемы. Наиболее совершенен способ, предложенный для гранулометрического анализа С. М. Романовским (1977). Используя табличные данные гранулометрического анализа, можно вычислить энтропийный коэффициент

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

где H — показатель неоднородности; P_i — содержание каждой фракции, выраженное в долях единицы (например, 1% = 0,01).

Для вычисления H обычно используются таблицы двоичных логарифмов. Для облегчения вычислений существуют специальные таблицы $f(x) = P_i \log_2 P_i$, которые публикуются в руководствах по статистике. Простые расчеты показывают, что макси-

мальная неоднородность достигается в том случае, если $P = P_2 = \dots = P_{n-j} = P_n$, а $P = \frac{1}{n}$. Тогда можно вычислить и показатель максимальной неоднородности H_{\max} :

$$H_{\max} = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i = -n \left(\frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} \right) =$$

$$= -\log_2 \frac{1}{n} = -(\log_2 1 - \log_2 n) = \log_2 n,$$

$$H_{\max} = \log_2 n,$$

где n — число фракций, выделенных в гранулометрическом анализе. Отсюда коэффициент сортированности S_0 образцов рыхлых отложений получается из выражения

$$S_0 = 1 - \frac{H_i}{H_{\max}},$$

где S_0 — коэффициент сортированности; H_i — показатель неоднородности изучаемого образца; H_{\max} — показатель возможно максимальной неоднородности образца при одинаковом (как и у изучаемого образца) количестве гранулометрических фракций n .

4.3.2. Минералогический и химический составы рыхлых отложений

Минералогический и химический составы рыхлых отложений зависят от состава пород, выходящих на дневную поверхность в пределах терригенно-питающей провинции, а также от процессов сортировки вещества в ходе его транспорта и отложения, от процессов химического выветривания и типергенного метасоматоза, приводящего к аутигенному минералообразованию¹.

Минералогический состав рыхлых отложений можно рассматривать как некоторый показатель, характеризующий не только терригенно-питающую провинцию, но и динамику рельефообразующих процессов и ту ландшафтно-климатическую обстановку, в которой происходит рельефообразование.

Наиболее часто встречающиеся в коренных породах минералы называются породообразующими. К ним относятся оливины, пироксены, амфиболы, слюды, полевые шпаты, кварц и глинистые минералы. Большинство из них являются силикатами или алюмосиликатами. В целом можно заметить, что минералы ультраосновных и основных пород меняют свои свойства более

¹ Аутигенными называются минералы, которые формируются на месте в ходе накопления рыхлых толщ или после их образования.

или менее закономерно. Их плотность и удельный вес зависят от глубины формирования. И, следуя от минералов, слагающих ультраосновные породы, к минералам кислых пород, можно заметить, что они становятся относительно легче, а стало быть, и подвижнее, и химически устойчивее. Аналогичную тенденцию мы наблюдаем и в транзите материала. Поэтому чем дальше удаляемся от областей питания, тем с более легкими и устойчивыми минералами в осадках встречаемся. Это определяет, в частности, то, что в конечных бассейнах стока заметно преобладание накопления кварцевых мелкозернистых песков. В промежуточных областях к ним добавляются светлые слюды, ближе к источникам питания появляются полевые шпаты, амфиболы и темноцветные слюды, а затем и широксены. Оливины в рыхлых осадочных породах не встречаются.

Двигаясь от областей накопления к областям сноса, мы можем наблюдать постепенный переход от мономинеральных рыхлых пород к полиминеральным их разновидностям. Наиболее важными на этом пути являются: 1) кварцевые пески, состоящие преимущественно из кварцевых обломков; 2) аркозовые пески, в которых наряду с кварцем содержится не менее 25% полевых шпатов; 3) граувакки — осадки, в которых содержится большое количество обломков не минералов, а горных пород, в том числе и основного состава. Последние всегда являются показателями большой близости источников питания.

По мере удаления от источников питания может сформироваться последовательность осадков, отличающаяся гранулометрическим, минералогическим и химическим составом: галечники — гравийные отложения — пески — алевроиты — глины. В галечниках и гравийных отложениях основной фон составляют обломки пород, которые характеризуются тем или иным минералогическим составом в соответствии с петрографией обломкоформирующих пород. В этих отложениях всегда присутствует песок, который может иметь и иной, более интегрированный состав (собранный с большей по размерам территории). В алевроитах и глинах песок составляет примесь.

Каждая из гранулометрических фракций несет собственную информацию о своем происхождении. Однако для изучения минералогического состава обычно берется шлихтовая фракция (размер обломков 0,1—0,25 мм), характеризующаяся максимальным минералогическим разнообразием. В ней выделяют соответственно легкую и тяжелую фракции. Легкая фракция состоит преимущественно из кварца, кислых полевых шпатов, мусковита и серицита. Состав тяжелой фракции более разнообразен. Входящие в нее минералы отличаются удельным весом, магнитными и электромагнитными свойствами. Спектр минералов тяжелой фракции обычно хорошо характеризует питающую провинцию с точки зрения формирующих ее горных пород. Данные о составе и свойствах минералов тяжелой фракции сведены в табл. 11.

Минералы тяжелой фракции и их свойства

Тип пород в терригенно-питавоющей провинции	Название типичных минералов	Химический	Твердость	Редко встречающиеся минералы
1	2	3	4	5
Ультраосновные: дуиниты пироксениты пикриты и др.	оливин пироксены: гиперстен аegит диопсид хром-шпинелиды титаномагнетит	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄ Ca(Mg, Fe, Al)(SiAl) ₂ O ₆ CaMg[Si ₂ O ₆] (Mg, Fe)(Cr, Al, Fe) ₂ O ₄ FeFe ₂ O ₄ (TiO ₂)	6,5—7,0 5,5 5,0—6,0 5,5—6,0 5,5—7,5 —	роговая обманка шпинель зеленая
Основные: габбро и др.	пироксены: гиперстен диопсид роговая обманка титаномагнетит ильменит анатит эпидот	(Mg, Fe) ₂ [Si ₂ O ₆] Ca, Mg[Si ₂ O ₆] Ca ₂ Na(Mg, Fe) ₄ (Al, Fe) ₂ [(Si, Al) ₄ O ₁₁][OH] ₂ FeTiO ₃ или FeOTiO ₂ Ca ₅ [PO ₄] ₃ Fe и Ca ₅ [PO ₄] ₃ Cl Ca ₂ (Al, Fe) ₃ [SiO ₇][SiO ₄][OH] Ca ₂ Na(Mg, Fe) ₄ (Al, Fe) ₂ [(Si, Al) ₄ O ₁₁][OH] ₂	5,5 5,5—6,0 5,5—6,0 5,0—6,0 5,0 6,5 5,0—6,0	бютит оливин сульфиды и др. гранат корунд лейкоксен
Среднекислые: диориты андезит порфириты	роговая обманка пироксены: аegит гиперстен энстатит эгириин бютит апатит титанит турмалин мачетит	Ca(Mg, Fe, Al)(SiAl) ₂ O ₆ (Mg, Fe) ₂ [Si ₂ O ₆] Mg ₂ [Si ₂ O ₆] NaFe ³⁺ [Si ₂ O ₆] K(Mg, Fe) ₃ [Si ₃ AlO ₁₀][OH, Fc] ₂ Ca ₅ [PO ₄] ₃ Fe и Ca ₅ [PO ₄] ₃ Cl CaTiSiO ₅ (сфен) (Na, Ca)(Mg, Al) ₆ [B ₂ Al ₃ Si ₆ (O, OH) ₂₀] Fe, Fe ₂ O ₃	5,0—6,0 5,5 5,5 5,5—6,0 2,0—3,0 5,0 5,0—6,0 7,0—7,5 5,5—6,0	роговая обманка оливин гранат

1	2	3	4	5
Кислые: граниты (щелочоземельные) грациитоиды нормальные граниты гранодиориты	биотит мусковит амфиболы пироксены моноклинные апатит циркон кселоцит турмалин эпидот гранат титанит магнезит ильменит пироксены щелочные: эгирин авгит амфиболы роговая обманка арфведсонит биотит лепидомслан циркон апатит титанит	$K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, Fe]_3$ $KA_2[Al_2Si_2O_7][OH]_2$ $Ca_2Na(Mg, Fe)_4(Al, Fe)[(SiAl)_4O_{11}]_2[OH]_2$ $Ca, Mg[Si_2O_6] \text{ и } Ca(Mg, Fe, Al)[(SiAl)_2O_6]$ $Ca_3[PO_4]_3Fe \text{ и } Ca_3[PO_4]Cl$ $ZrSiO_4$ YPO_4 $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[B_2Al_3Si_6(O, OH)_{30}]$ $Ca_2(Al, Fe)_3[Si_2O_6][SiO_3]_2[OH]$ $(Mg, Fe, Al)_3Al(SiO_4)_3 \text{ и } Ca_3[Al, Fe, Cr]_2[SiO_4]$ $CaTiSiO_5$ $Fe^{+2}, Fe^{+3}O_3$ $FeTiO_3$ $Na_4Fe^{+3}[Si_2O_6]$ $Ca(Mg, Fe, Al)[(SiAl)_2O_6]$ $Ca_2Na(Mg, Fe)_4(Al, Fe)[(Si, Al)_4O_{11}]_2[OH]_2$ $Na_3(Fe, Mg)_4(Fe, Al)[Si_4O_{11}]_2[OH, Fe]_2$ $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, Fe]_2$ $K, Fe_3[Si_3(Al, Fe)O_{10}][OH]_2$ $ZrSiO_4$ $Ca_3[PO_4]_3Fe \text{ и } Ca_3[PO_4]_3Cl$ $CaTiSiO_5 \text{ (сфен)}$	2,0—3,0 2,0—3,0 5,5—6,0 5,0 7,0—8,0 4,0—5,0 7,0—7,5 6,5 6,5—7,5 5,0—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 5,5—6,0 2,0—3,0 — 7,0—8,0 5,0 5,0—6,0	ромбические пироксены в гранитоидах — амфиболы и пироксены флюорит, силикаты титана и циркония титаномagneзит, ильменит
Щелочные граниты: сисситы				

Исследуя минералогический состав и его изменения в пространстве, можно воспользоваться мерами однородности, сортированности, аналогичными тем, которые были описаны выше для гранулометрического состава. Особенно это важно для изучения динамики осадкообразования и его связи с рельефообразующими процессами. Менее сортированные образования формируются в малых водосборных бассейнах. Они типичны для отложений ледникового происхождения, селей и, в меньшей мере, горных обвалов и осыпей, так как минералогическое разнообразие контролируется петрографическим единством пород питающей провинции. С удалением от источников питания однородность минералогического состава сначала уменьшается, а затем растет.

Для анализа минералогического и химического составов рыхлых отложений самостоятельное значение имеет анализ глинистых и аутигенных минералов. Глинистые минералы являются продуктом химического выветривания коренных пород, а также тонких фракций вулканических пеплов, поступающих в атмосферу при вулканических извержениях и оседающих на Землю в виде аэрозолей. Кроме того, на поверхность в областях денудации выходят и зоны гидротермально измененных пород, где глинистые частицы могут иметь и эндогенное происхождение. Поступая в кругооборот веществ на поверхности, глинистые минералы эндогенного происхождения смешиваются с глинистыми частицами иного генезиса и в рыхлых осадках становятся трудно различимыми.

Обычно принято считать, что состав глинистых минералов зависит от ландшафтно-климатических условий. Предполагается, что при климатических изменениях от холодных и влажных условий к теплым и влажным происходит смена минералогических комплексов глин. Главное направление смен выглядит так: породообразующие алюмосиликаты коренных пород — гидрослюда — минералы группы монтмориллонита — минералы группы каолинита — гидроокислы железа и алюминия. Новейшие исследования не подтверждают такой простой линии изменений, так как на влияние климатической зональности сложно накладываются временные последовательности и влияние состава коренных пород. Основные породы чаще дают глинистые породы монтмориллонитового состава, а гранитоиды — каолинитовые глины, хотя наибольшей распространенностью обладают гидрослюда и монтмориллонит. Преобладание гидрослюд и монтмориллонита сохраняется для всех глинистых пород мезокайнозоя, хотя, как известно, климат в течение большей части этого времени оставался достаточно теплым и резко изменился лишь в плейстоцене. Интересно отметить, что для того же отрезка геологической истории намечается тенденция слабого накопления каолинита во времени. Больше всего его оказалось в глинах плейстоценового возраста (Сергеев и др., 1971).

Аутигенные минералы наиболее полно соответствуют физи-

ко-химической обстановке осадконакопления и ее постседиментационной эволюции. Часто среди них встречаются минералы, которые возникают в связи с выпадением сульфидов и сульфатов, карбонатов, кремнезема, их некоторых комбинаций иногда в сложных органо-минеральных сочетаниях. Они образуются в порах и трещинах в виде мелких крупинок, а иногда достаточно крупных конкреций, но обычно встречаются в виде пленочек или своеобразных присыпок на поверхности минералов терригенного происхождения. Среди сульфидов в качестве аутигенного минерала чаще всего встречается пирит, который обычен в глинах морского происхождения; среди сульфатов — гипс; карбонаты представлены кальцитом; окислы — окислами кремния и железа. Аутигенные минералы обычно приурочены к тем или иным геохимическим барьерам, на которых резко изменяются рН и ϵH , что сказывается на мигрантах и приводит их к избирательному осаждению. Аутигенные минералы могут быть синхронными осадочным образованиям, могут быть эпигенетическими.

Детально изучены аутигенные минералы морских толщ, для которых типичны железомарганцевые конкреции, сульфиды, фосфориты и др. В обстановках осадконакопления на шельфах в распределении аутигенных минералов отчетливо видна широтная климатическая зональность: сульфиды железа — на севере; в умеренной зоне — соединения железа и марганца; в аридных условиях встречаются хемогенные карбонаты и галогенные образования.

Изучение аутигенных минералов позволяет восстанавливать палеоклиматические обстановки на шельфе, смену солености и окислительно-восстановительного потенциала, изменение количества органики и др.

В континентальных осадках аутигенные минералы чутко реагируют на смены ландшафтно-климатических условий и фациальных обстановок. Здесь также мы встречаемся с аутигенными минералами, о которых уже было написано выше. Для гумидных обстановок типоморфными являются гидроокислы железа и марганца; для аридных — кальций, гипс (Добровольский, 1966; Судакова, Воскресенская, Немцова, 1987).

Аутигенное минералообразование тесно связано с геохимическими особенностями ландшафтов, химическим составом коренных горных пород, типами грунтовых вод, определяющими характер геохимического процесса. А. И. Перельман (1985) выделяет три типа грунтовых вод, определяющих три типа геохимических обстановок: 1) кислородные воды и окислительные обстановки; 2) глеевые воды и восстановительные обстановки; 3) сероводородные воды и восстановительные сероводородные обстановки. Тип вод и геохимических обстановок определяют вид процесса: сернокислый, кислый, нейтральный, щелочной, хлоридно-сульфатный. С этими процессами и связано аутигенное минералообразование. При этом вновь образовавшиеся минералы могут

быть остатками выщелачивания или результатом их осадки на геохимических барьерах. А. И. Перельман выделяет восемь основных типов физико-химических барьеров: кислородный (А); сероводородный (В); глеевый (С); щелочной (Д); кислый (Е); испарительный (Г); сорбционный (F); термодинамический (Н). Сочетание трех типов вод и четырех типов щелочно-кислотных условий он объединяет в 12 классов вод, которые могут поступать к одному из выделенных физико-химических барьеров. В зависимости от типа барьера и типа природных вод и происходят те процессы, которые определяют вид аутигенных минералов.

Химический состав рыхлых отложений тесно связан с их минералогическими особенностями. Он в значительной мере отражает распространенность химических элементов в породах земной коры. Для анализа их обычно делят на катионную и анионную группы. В составе катионов наибольшую распространенность имеют Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, достаточно часто встречается Li. Кислотные основания обычно создает кремнекислородная группа, дающая начало всем без исключения силикатам и алюмосиликатам. Широко встречаются также анионы угольной и серной кислоты. В результате в природе наиболее часто встречаются соли сильных и слабых кислот: силикаты, алюмосиликаты, карбонаты, сульфаты, реже — хлориды, сульфиты, нитраты и некоторые другие соединения.

В природных растворах эти соединения растворяются или гидролизуются. Большую роль в химических превращениях играет деятельность организмов и особенно микроорганизмов.

На поверхности Земли встречается большое разнообразие природных геохимических обстановок, определяющих подвижность, условия накопления и формы существования тех или иных химических элементов.

Для нижнерельефно-геоморфологического анализа интересны процессы гидролиза и гидратации, а также сорбции минералов. В частности, как будет показано ниже, большое значение имеет состав поглощенных оснований, влияющий на многие из свойств рыхлых отложений, а через них — и на процессы рельефообразования.

Рельеф прямо не оказывает большого воздействия на химический состав рыхлых отложений, хотя, как показали исследования К. К. Маркова, каждому или почти каждому генетическому типу рельефа свойственен определенный химический состав рыхлых отложений. И эта связь прослеживается через минералогический состав коррелятивных и конформных осадков. Однако можно заметить, что справедливым является и заключение Б. Б. Польнова, который установил, что на бесконечно длинном склоне в поглощенном комплексе оснований наблюдается определенная закономерность их смены от вершин к подножиям. В том закономерном ряду располагаются: сверху — трехва-

лешные катионы, ниже — двухвалентные, еще ниже — одновалентные.

Породы различного гранулометрического минералогического и химического состава распространены на земной поверхности неравномерно. Так, осадочные породы занимают около трех четвертей суши. Из них глины и глинистые сланцы — 46%; пески, песчаники и более грубые осадки — 32; известняки — 21, и лишь 1% приходится на остальные породы (Луцицкий, 1949).

4.3.3. Структура и текстура рыхлых отложений и рельеф

Понятия «структура» и «текстура» в грунтоведении определены недостаточно четко. В отечественной школе грунтоведения под структурой грунтов принято понимать такие их элементы, которые определяют самую общую характеристику его строения, а под текстурой — расположение этих элементов по отношению друг к другу. В английской геологической литературе эти понятия используются в противоположном значении: структура описывается расположением отдельных текстурных элементов. Если рассматривать грунт как сложную систему, то в нем следует различать структуры разного порядка. Первый порядок характеризуется наличием вещества в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном.

Твердая фаза состоит из структурных элементов, которые дальше делить нельзя, — это элементарные структуры. В качестве таковых выступают обломки разной крупности и формы. Крупность характеризуется с помощью гранулометрического анализа. Форма обломков описывается с помощью нескольких параметров: общего габитуса, округленности (окатанность), симметрии (асимметрии), ребристости и качества огранки, шероховатости и изрезанности поверхности и др. Набор признаков для описания формы в настоящее время не является общепринятым. Для характеристики общего габитуса измеряют длину A , ширину B и толщину C обломка. А затем с помощью отношений или сложных коэффициентов описывают форму каждого структурного элемента, например $\frac{b}{a}$ — коэффициент удлинения, $\frac{c}{a}$ и $\frac{c}{b}$ — коэффициенты уплощения. Обычно выделяют изометричные, уплощенные и удлиненные обломки.

Округленность (окатанность) описывается с помощью характеристик радиусов закругления (максимального и минимального) или визуально разбивается на классы окатанности. У нас в стране наиболее распространена система, предложенная А. В. Хабаковым (1933). По степени округленности выделяются пять классов: 0 — неокатанный обломок (все грани и ребра сохранены); 1 — часть ребер округлена, все грани плоские; 2 — часть граней округлена, исходная форма хорошо узнается; 3 — все

грани округлены, исходная форма узнается плохо; 4 — все грани и ребра округлены, исходный обломок не узнается.

Для определения коэффициента окатанности берется проба из 100 случайных обломков одного класса крупности и одного типа пород. Проба разбивается на классы в соответствии с указанными признаками. Число обломков каждого класса умножается на номер своего класса. Затем все произведения складываются и делятся на число обломков (в данном случае на 100):

$$K_0 = \frac{\sum_{i=1}^n n_i k_i}{100}$$

где K_0 — коэффициент окатанности (округленности); n_i — число обломков данного класса; k_i — порядковый номер класса.

Более подробно форма обломков изучается лишь при специальных исследованиях.

Структура жидкой и газообразной фаз раскрывается через состав природных растворов и порового газа.

Классификация текстур, достаточно полно разработанной, в настоящее время еще нет. Все текстуры вначале делят на две группы: упорядоченные и неупорядоченные.

Упорядоченные текстуры разделяются на пять классов: 1) равномернораспределенные, 2) слоистые, 3) столбчатые, 4) сетчатые, 5) сложноповторяющиеся. Эти классы можно еще разделить на виды и подвиды.

Неупорядоченные текстуры далее на классы не подразделяются. Отсутствие порядка в расположении отдельных элементов — иногда лишь кажущееся явление. Скрытый, неулавливаемый на глаз порядок в отдельных случаях может быть обнаружен более точными исследованиями с помощью статистического анализа результатов измерений. Однако эти исследования проводятся лишь в редких случаях.

Классификация структур и текстур нуждается в дальнейшей разработке. Это связано с тем, что с их помощью сравнительно просто устанавливается степень сходства и различия отдельных разновидностей рыхлых и литифицированных осадков. Кроме того, структура и текстура пород позволяют судить об уровне анизотропности различных их свойств, важных с инженерной точки зрения. Так, анизотропные слоистые толщи могут обладать довольно различной несущей способностью в зависимости от степени совпадения основных напряжений с плоскостями слоистости, слоистчатости и т. п.

Структура и текстура рыхлых отложений возникают в ходе их образования, и, как правило, породы различного происхождения отличаются друг от друга по своим структурным и текстурным признакам. Геоморфологи часто используют эти признаки для диагностики происхождения тех форм рельефа, с которыми генетически связан изучаемый осадок. По структуре

и текстуре обычно удается восстановить условия осадконакопления и тем самым восстановить детали механизмов рельефообразования. Но и рельеф как одно из условий осадконакопления оказывает влияние на возникновение тех или иных элементов структуры и текстуры. Поскольку структура рыхлых отложений в значительной мере зависит от их гранулометрического состава, то отношения между рельефом и структурой определяются спектром процессов выветривания, дальностью места образования осадка, интенсивностью склоновых и русловых процессов, чаще всего осуществляющих транзит частиц от мест их образования к местам осаждения и накопления. Текстуры рыхлых отложений сильно зависят от динамических характеристик тех рельефоформирующих потоков вещества, с которыми связано их образование. Быстрое накопление малоблагоприятно для сортировки, и поэтому в обвалах, грязекаменных потоках, в озерных и морских осадках, в зонах, испытывающих воздействие волнения, создаются плохосортированные осадки без признаков слоистости. Иногда быстрота переформирования отложений фиксируется границами размыва, разными видами косой слоистости. Все это в той или иной мере контролируется рельефом.

4.3.4. Пористость и трещиноватость рыхлых отложений

Большая часть рыхлых отложений представляет собой пористую среду. Пространство между твердыми частицами обычно занято водой или газами. Количество жидкой и газообразной фаз зависит от объема пор. Поры встречаются и в плотных литифицированных породах. Даже породы магматического происхождения обладают незначительной пористостью. Для определения пористости наряду с понятием удельный вес пород (удельный вес рыхлых отложений равен удельному весу твердой фазы) полезно ввести понятие объемный вес (объемный вес любой породы — это вес единицы ее объема). Естественно, объемный вес всегда будет меньше удельного. Для большинства рыхлых осадков в высушенном состоянии объемный вес, как показывает практика, близок к величине 2 г/см^3 . Разница между ними определяется пористостью.

Удельный вес пород тесно связан с их минералогическим составом. Поскольку относительно грубые фракции (до размеров песка) состоят чаще всего из обломков пород и минералов гранитного ядра, то их удельный вес колеблется от $2,5$ до $2,7 \text{ г/см}^3$. Если выветриванию подвергались породы основного состава, то удельный вес грубозерчатых пород может достигать $3,5 \text{ г/см}^3$. Рыхлые осадки, состоящие из обломков песчаной фракции, имеют удельный вес, близкий удельному весу кварца и кислых полевых шпатов ($2,5\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$). Пылеватые частицы обычно тяжелее песчаных (удельный вес песков $2,65 \text{ г/см}^3$), так как они в своем составе содержат большое количество окислов железа (удельный вес $2,74 \text{ г/см}^3$).

Объемный вес зависит от пористости осадков. Следует различать размер одной поры и суммарный объем пор. Грубозернистые породы отличаются крупными размерами пор, но относительно малой их суммой. Тонкозернистые породы, наоборот, обладают тонкими порами, общий объем которых может оказаться значительным.

Пористость принято описывать с помощью двух показателей: коэффициента пористости n и показателя приведенной пористости ε . Коэффициент пористости можно получить с помощью отношения

$$n = \frac{V_{\pi}}{V_0} \cdot 100\%,$$

где V_{π} — объем пор; V_0 — объем породы.

Коэффициент пористости n можно получить, зная удельный и объемный вес породы:

$$n = \left(1 - \frac{\delta}{\gamma}\right) \cdot 100\%,$$

где δ — объемный вес; γ — удельный вес.

Показатель приведенной пористости ε , или просто приведенная пористость, определяется с помощью другого отношения:

$$\varepsilon = \frac{V_{\pi}}{V_T},$$

где V_{π} — объем пор; V_T — объем твердой фазы.

Оба коэффициента связаны между собой следующими отношениями:

$$\varepsilon = \frac{n}{1-n}; \quad n = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}$$

Детальное изучение пористости позволило установить наличие замкнутых и сообщающихся между собой пор. Их следует различать, так как лишь по сообщающейся системе пор осуществляется циркуляция воды и воздуха. Поэтому в специальных исследованиях выделяют открытую пористость n_o . Она определяется соотношением

$$n_o = \frac{V_{co}}{V_0} \cdot 100\%,$$

где V_{co} — объем сообщающихся между собой пор; V_0 — объем породы.

Некоторые из открытых пор столь малы по своим размерам, что часть жидкости входит в реакцию с породами и не принимает участия в движении. Тогда для изучения условий филь-

трации полезно выделить еще динамическую пористость n_d , которая вычисляется с помощью отношения

$$n_d = \frac{V_d}{V_0} \cdot 100\%,$$

где V_d — объем движущейся жидкости, V_0 — объем породы.

Аналогично определяется и трещиноватость горных пород. Обычно этот показатель приводится для скальных и полускальных пород (иногда его называют коэффициентом трещинной пористости) и определяется по густоте трещин, для чего под микроскопом в шлифе подсчитывают сумму длин всех трещин. И наконец, вычисляется сам коэффициент густоты трещин α :

$$\alpha = \frac{\sum l_i}{F},$$

где $\sum l_i$ — сумма длин трещин, F — площадь шлифа.

Коэффициент трещиноватости (трещинной пористости) n_T требует измерения еще и ширины трещин, после чего может быть получен коэффициент трещиноватости n_T по следующей формуле:

$$n_T = b \cdot \alpha,$$

где b — средняя ширина трещин.

С пористостью отложений тесно связаны такие их свойства, как плотность, влажность, влагоемкость, водоотдача.

Пористость рыхлых отложений тесно связана с гранулометрическим составом. Как правило, более тонкозернистые осадки обладают большей пористостью. Кроме того, большое влияние на пористость оказывает скорость осадконакопления. Чем быстрее накапливается осадок, тем более рыхло он сложен и тем больше его пористость. Менее пористые породы образуются при спокойном и медленном их накоплении. Скорость накопления осадков, естественно, связана с расчлененностью рельефа и напряженностью процессов рельефообразования. Пористость осадков уменьшается с их возрастом. Это позволяет думать, что генетический тип рельефа и его возраст должны быть связаны с пористостью коррелятивных ему отложений.

Трещиноватость рыхлых пород возникает после их образования. В гипергенных субаэральных условиях трещиноватость проявляется в результате высыхания грунтов и уменьшения их объема, а также при попеременном замерзании и оттаивании. Известно, что эти процессы протекают в определенных природных условиях и в известной мере контролируются рельефом.

Пористость и трещиноватость — важные свойства рыхлых отложений. Они оказывают большое влияние на ход многих рельефообразующих процессов. Прежде всего следует обратить внимание на то, что они оказывают большое влияние на водо-

поглощение и фильтрацию. В трещиноватые, пористые породы легко проникает вода. На склонах в связи с этим сокращается поверхностный делювиальный смыв и возрастает угроза суффозионных и оползневых процессов. В силу наличия пористости при периодическом увлажнении меняется и вес пород. С пористостью связаны просадочные явления и глинистый карст в лёссовидных суглинках.

4.3.5. Гидрофильные свойства рыхлых отложений

При контакте рыхлых пород с водой можно заметить целый ряд явлений, свидетельствующих о том, что в них происходит ряд сложных физико-химических превращений: выделяется теплота, меняется объем и, наконец, появляются черты пластичности, текучести. Для рыхлых грунтов переход от твердого к жидкому состоянию в отличие от процессов образования растворов не требует затрат энергии. Это явление получило название «изменение консистенции». Реакция при соединении рыхлых осадков с водой, их гидратация представляет, таким образом, сложное природное явление. Разные группы грунтов при гидратации ведут себя по-разному. В частности, это проявляется в различных величинах теплоты смачивания, набухания и усадки, в неодинаковой скорости размокания и т. п. Совокупность этих признаков характеризует гидрофильность рыхлых отложений. Более гидрофильные грунты активнее проявляют себя в процессе гидратации.

Выделение теплоты смачивания. При реакции воды с минеральной частицей вокруг последней образуются две водные оболочки: 1) оболочка прочно связанной воды; 2) оболочка рыхло связанной воды. Под воздействием электростатических сил вода этих оболочек не только удерживается на поверхности минеральных частиц, но и приобретает новые свойства. Особенно сильно изменяются свойства у прочно связанной воды. Испытывая огромное давление — порядка 10 000 атм, плотность нормальной воды увеличивается до величины 2 г/см^3 , т. е. увеличивается в два раза, температура замерзания понижается до -78°C , изменяется диэлектрическая постоянная, она становится равной 2 (у обычной воды — 81), модуль сдвига равен 2 кг/мм^2 (200 кг/см^2). Таким образом, сравнивая физические свойства прочно связанной воды и воды нормальной, нельзя не заметить, что в процессе ее формирования возникает новое тело, обладающее свойствами, близкими к свойствам твердого вещества. Это впечатление усиливается и благодаря тому, что при образовании прочно связанной воды, так же как и при ее замерзании, выделяется скрытая теплота, в данном случае теплота смачивания. Зная природу этого явления, можно предсказать факторы, которые будут определять количественно теплоту смачивания. Величина теплоты смачивания, полученная в процессе гидратации грунта, зависит от: 1) массы пород и воды; 2) гра-

нулометрического состава пород; 3) минералогического состава пород; 4) состава обменных катионов.

Необходимо некоторое соотношение между массой пород и массой воды. Прочно связанная вода имеет некоторую толщину. Отсюда нетрудно подсчитать объем воды, который необходим для формирования прочно связанной воды; для этого необходимо знать пористость и гранулометрический состав. Поскольку у тонкодисперсных пород активной поверхности на грамм вещества больше, то в процессе гидратации глины выделяют большее количество теплоты смачивания, чем пески. Теплота смачивания измеряется в малых калориях на грамм сухого вещества, и для различных рыхлых грунтов (по Е. М. Сергееву) она будет равна: для песков — 0—1 кал/г, для супесей — 1—2, для суглинков — 2—8, для глины — 8—26 кал/г.

При прочих равных условиях монтмориллонитовые глины выделяют больше тепла смачивания, чем соответствующие глины каолинитового состава. При сравнении других глин важным показателем гидрофильности являются отношения $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$. Чем больше этот показатель, тем больше выделяется теплоты.

И наконец, величина теплоты смачивания меняется в зависимости от состава поглощенных оснований, поскольку определяется не только состояние глинистой и коллоидной составляющей, но и весь ход процесса. Количество теплоты смачивания уменьшается в зависимости от состава катионов. При наличии в составе поглощенных оснований Mg она максимальна и убывает в зависимости от состава оснований в следующей последовательности:



На величину теплоты смачивания большое влияние оказывают как свойства воды, так и грунта. Но влияние этих свойств различно. Так: 1) структура грунта — не влияет; 2) температура грунта — заметно снижает выделение теплоты смачивания, начиная лишь с некоторого предела; например, для бентонита после $t = +140^\circ\text{C}$. В целом при прогреве гидрофильность уменьшается; 3) влажность грунта — чем она больше, тем меньше выделяется теплоты смачивания; 4) солевой состав воды — при малой концентрации — теплота смачивания повышается, при большой — понижается.

Теплота смачивания прямо не оказывает влияния на рельефообразующие процессы и механические свойства грунтов. Теплота смачивания является лишь показателем их гидрофильности.

При последовательном увеличении количества воды происходит дальнейшая гидратация грунта, которая ведет к его набуханию. Явление набухания связано с формированием диффузно связанной воды (рыхлосвязанной). Набухание может быть охарактеризовано изменениями объема, влажности, давления.

Одним из замечательных сопутствующих явлений, подтвержда-

дающих электростатическую природу набухания, является контракция объема. На основании измерений установлено, что при гидратации грунта и его набухании не сохраняется равенство объемов V , что можно записать в виде следующего соотношения:

$$V \text{ грунта} + V \text{ воды} \neq V \text{ набухающего грунта.}$$

Это подтверждает то, что диффузносвязанная вода в грунте находится под давлением. Явление набухания — процесс осмотический, зависит от внешнего давления, влажности, осмотического давления.

Давление в диффузном слое колеблется на его различных уровнях от 0 кг/см² на внешней оболочке до 500 кг/см² на границе с прочно связанной водой.

Зная величину давления, можно определить глубину, до которой возможно набухание грунтов. Практически все грунты набухают. Величина набухания зависит от глубины промачивания. Для суглинистых грунтов она не превышает 100—150 м. Явление, обратное набуханию, носит название усадки и связано с явлениями дегидратации пород.

Величину набухания определяет ряд факторов: 1) концентрация солей внешнего слоя и порового раствора — чем больше концентрация солей во внешнем слое, тем больше набухание. Атмосферные и талые воды способствуют набуханию грунтов в большей степени, чем аллювиальные, грунтовые и морские (последние нередко вызывают усадку грунтов); 2) минералогический состав глин — набухание глин монтмориллонитового состава больше, чем у каолинита; 3) набухание растет с увеличением емкости поглощения; 4) набухание увеличивается по мере гидрофильности поглощенных оснований по схеме катион⁺ > катион⁺² > катион⁺³.

Набухание зависит от состава оснований и убывает пропорционально ряду оснований:



Набухание — широко распространенное явление, им предопределено медленное движение грунтов на склонах, а также обвалы на крутых склонах в связи с большим набуханием грунта в их основаниях.

Размокание является следующей стадией при продолжающейся гидратации. Размокание — это потеря связи между отдельными частицами при крайнем набухании и растворении цемента. Для более полного определения размокания пока еще нет точной физической характеристики, и в настоящее время размокание измеряется временем, которое требуется для прохождения полного цикла. Измерение проводится в стакане, куда медленно погружают на тонкой металлической решетке 1 см³ грунта. Процесс размокания для различных грунтов имеет не

только количественные, но и качественные отличия, и можно выделить четыре типа процесса: 1) расползание грунта в пятна; 2) отслаивание корочек; 3) осыпание агрегатов; 4) взрыв.

Размокание характеризует водопрочность грунта. На размокание влияют: 1) диэлектрическая постоянная жидкости (ДК) — чем больше ДК, тем быстрее размокание. Ниже приводятся данные ДК для некоторых жидкостей: $DK_{\text{воды}}=81$ (80,5 — для вакуума), $DK_{\text{глицерина}}=55,3$; $DK_{\text{этил. спирта}}=29,7$; $DK_{\text{бензина}}=2,3$; 2) механический состав — при увеличении дисперсности водопрочность увеличивается; 3) температура воды — прочность уменьшается при увеличении температуры грунта; 4) минералогический состав глин — прочность каолиновых глин больше, чем у монтмориллонитовых; 5) состав поглощенных оснований — прочность увеличивается при изменении состава оснований, следуя по гидратационному ряду слева направо:



Размокание — важнейшая характеристика грунтов, которую следует иметь в виду геоморфологам. Все потоки наносов, связанные с текучими водами, начинаются с размокания грунта, например делювиальные процессы, возникающие весной и летом. Опытные наблюдения показывают, что легче размокают грунты сухие, чем влажные; грунты, имеющие поры и трещины, связанные с замерзанием и усыханием, размокают быстрее, чем влажные грунты. Ливни после засухи будут давать больший эффект размокания, а стало быть, и размывания грунтов. С размоканием связаны явления оползания и, еще в большей степени, боковой эрозии. Известно, что в изгибах русла, воздействуя на него механически, динамическая струя потока подмывает русло. Динамическое воздействие испытывают отдельные частицы и их агрегаты. Размокание способствует подготовке таких агрегатов.

Описанные свойства грунтов возникают в ходе гидратации (смачивания) даже в условиях отсутствия нагрузки. Таким условиям больше всего отвечает приповерхностная зона грунтов на горизонтальных или почти горизонтальных участках. В условиях склонов наряду с набуханием и усадкой, а также их размоканием можно наблюдать сложные явления, связанные с пластической деформацией. В связи с этим различают изменения свойств грунта при статических и динамических нагрузках. Известно, что при изменении влажности глины могут менять свое состояние от твердого до текучего. В таком случае говорят об изменении консистенции. Консистенция переводится с латинского языка как «состояние» и обычно понимается как степень мягкости вещества, его густота.

Обычно принято выделять шесть видов консистенции: 1) жидкотекучая — грунт течет тонким слоем, подобно жидкости; 2) вязкотекучая — грунт течет толстым слоем, две порции сли-

ваются между собой; 3) липкопластичная — легко возникают пластичные деформации, грунт прилипает к рукам и другим предметам; 4) вязкопластичная — грунт пластичен, но не прилипает к рукам; 5) полутвердая — грунт ведет себя как полутвердое тело; 6) твердая консистенция. В качестве границ между этими консистенциями принимаются некоторые уровни влажности, которые известны также как пределы Аттерберга. Каждый из них имеет свое название. Таких пределов пять: 1) предел затвердевания W_l разделяет смесь грунта с водой, текущей тонким и толстым слоями; 2) верхний предел пластичности W_u аналогичным образом разделяет вязкотекучую и липкопластичную консистенции; 3) предел липкости W_s разделяет липкопластичную и вязкопластичную консистенции; 4) нижний предел пластичности W_p разделяет вязкопластичную и полутвердую консистенции; 5) предел усадки W_c — разделяет полутвердую и твердую консистенции. Все пределы определяются в лаборатории методами, установленными ГОСТами.

С помощью этих показателей обычно дается общая характеристика свойств грунтов, а также их состояния консистенции. Для этого используются несколько характеристик пластичности грунтов.

В. А. Приклонский (1955) дает следующие способы установления свойств пластичности грунтов. Для определения степени пластичности необходимы следующие параметры: 1) естественная пористость — n , %; 2) верхний предел пластичности — W_u , %; 3) нижний предел пластичности — W_p , %; 4) число пластичности — M_p , %; 5) естественная влажность — W , %; 6) показатель консистенции — B ; или B_1 .

Большинство указанных параметров получают с помощью вычисления весовой влажности. Число пластичности представляет собой разность

$$M_p = W_u - W_p.$$

По этому показателю принято подразделять группы на четыре класса:

- 1) высокопластичные, $M_p \geq 17$;
- 2) пластичные, $M_p =$ от 7 до 17;
- 3) слабопластичные, $M_p =$ от 0 до 7;
- 4) непластичные, $M_p = 0$.

Показатель консистенции B или B_1 можно определить двумя способами: по отношению к верхнему или нижнему пределам пластичности:

$$B = \frac{W - W_p}{M_p}, \text{ или } B_1 = \frac{W_u - W}{M_p},$$

где W — влажность грунта, %.

Если мы определяем состояние консистенции с помощью B_1 , то можно утверждать, что при $B_1 = 0$ грунт находится в твердом

состоянии, при $0 \leq B \leq 1,0$ — в пластичном и при $B > 1$ — в текучем.

На пластические свойства оказывает влияние механический состав. Свойствами пластичности обладают глины, суглинки и супеси; пески, а также более грубые обломки непластичны (табл. 12).

Таблица 12

Характеристика пластичности грунта в зависимости от их механического состава (по П. Ф. Мельникову)

Наименование грунтов	Верхний предел пластичности	Нижний предел пластичности	Число пластичности
Глина	44	22	22
Суглинок	44—26	26—16	22—10
Супесь	28—18	16—8	10—00
Песок	не определяется		0

Заметно влияние минералогического состава глин. По данным Е. М. Сергеева (1971), пластичность грунта увеличивается при наличии в грунте монтмориллонитовых глин и уменьшается, если глины имеют каолиновый состав. Влияние остальных минералов можно увидеть по результатам опыта Аттерберга (табл. 13).

Таблица 13

Пластичность частиц различного минералогического состава (по Аттербергу)

Название минерала	Размер частиц, мм	Пластичность		
		верхний предел	нижний предел	число пластичности
Биотит	0,002	87	44	43
Хлорит	0,002	72	47	25
Каолинит	0,002	63	43	20
Лимонит	0,002	36	27	9
Кварц	0,002	35	35	0

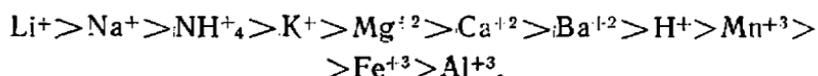
Как показали исследования П. Ф. Мельникова, нижний предел пластичности W_p в большей степени зависит от механического грунта, от степени его дисперсности. Верхний предел пластичности W_l в большей мере зависит от минералогического состава. Однако тип зависимости в обоих случаях еще не установлен.

Пластичность грунтов испытывает, как это и следовало ожидать, изменения в зависимости от состава обменных катионов. Чем выше валентность катионов, тем меньшую пластичность они придают глинистым грунтам. В связи с этим можно постро-

ить ряд изменений пластичности в зависимости от состава поглощенных оснований:



В более дробной последовательности этот ряд будет выглядеть так:



Учитывая распространенность катионов в породах, можно думать, что главное влияние оказывает соотношение двух наиболее часто встречаемых катионов — Ca^{+2} и Na^+ . По данным П. И. Шаврыгина (Сергеев и др., 1971), число пластичности M_p при полном замещении Ca^{+2} на Na^+ возрастает с 13,9 до 27,7%. При этом увеличение числа M_p связано с увеличением верхнего предела пластичности W_f . Можно также заметить, что пластичность тем больше, чем выше емкость поглощения.

На изменение свойств пластичности оказывает влияние и химический состав жидкости, и концентрация солей. Замечено, что вещества, положительно адсорбирующиеся, понижают пластичность, а отрицательно адсорбирующиеся — повышают.

Липкость грунтов W_s — их свойство прилипать к рукам, металлу после достижения предела липкости. Липкость измеряется силой прилипания в г/см^2 . Природа липкости связана с наличием сил молекулярного притяжения. Величина его зависит прежде всего от количества воды. При влажности, близкой к пределу липкости, силы притяжения невелики. Но по мере возрастания влажности они сначала быстро растут, а затем уменьшаются сначала быстро, затем медленно.

Величина липкости зависит от гранулометрического состава: чем тоньше грунт, тем больше его липкость. У природных грунтов липкость может достигать 500 г/см^2 и несколько больше. У искусственно выделенных коллоидальных частиц удалось наблюдать липкость до 1200 г/см^2 . За счет сил липкости на вертикальной стенке в 1 м^2 может удержаться до 12 т влажного грунта.

Зависимость липкости от минералогического состава глин не изучалась. Но можно думать, что монтмориллонитовые глины должны обладать большей липкостью, чем каолинитовые. На характер явлений липкости оказывает влияние поглощенный комплекс оснований. Здесь обнаружены те же закономерности, что и у свойств пластичности. Глины с преобладанием в комплексе поглощенных оснований одновалентных катионов обладают большей липкостью. Последовательный ряд здесь тот же:



Липкость также зависит от химического состава вод и от свойств твердого предмета, к которому прилипает грунт.

Тиксотропные и пльвунные свойства. Выше были рассмотрены причины, вызывающие изменения консистенции грунтов при статических нагрузках. В этом случае консистенция меняется в зависимости от влажности. Если влажность меняется постепенно, то и консистенция меняется постепенно. Скорость изменения консистенции в этом случае пропорциональна коэффициенту фильтрации грунта. Тонкодисперсные грунты, наиболее гидрофильные и обладающие повышенной пластичностью и липкостью, характеризуются вследствие малого размера пор малой величиной скорости фильтрации, что важно для оценки этих свойств при различных аспектах рельефообразования.

Существует еще один способ изменения состояния грунтов — переход из твердого или пластического состояния в текучее без изменения их влажности. Это явление известно как внезапное разжижение грунтов. Оно возникает в результате динамической нагрузки и объясняется пльвунными, или тиксотропными, свойствами грунтов. В этом случае обычно говорят об изменении состояния, стремясь подчеркнуть принципиальные различия между медленным и быстрым разжижением грунтов. Так, если медленно менять влажность песков, то они не пройдут последовательно стадии полутвердого, пластичного, липкого и текучего состояний. В этом случае они вообще не имеют свойств пластичности, т. е. число пластичности M_p у песков равно нулю.

Но при определенных влажности и механическом составе под воздействием механических нагрузок — природных (землетрясения, порывы ветра, раскаты грома и т. п.) или искусственных (вибрация зданий, перемещение транспортных средств и др.) — пески могут переходить в текучее состояние, образуя пльвуны. Изучение этих свойств позволило установить, что часть глинистых, лёссовидных и песчаных грунтов, обладающих незначительными связями между обломочными частицами, могут в определенных условиях переходить в текучее состояние без дополнительного увеличения влажности.

Из коллоидной химии известно, что часть коллоидных систем под механическим воздействием (встряхивание, вибрация) может переходить в разжиженное состояние. После прекращения динамического воздействия коллоиды постепенно возвращаются в исходное состояние. Свойства грунтов переходить в разжиженное состояние под динамическим воздействием аналогичны указанным тиксотропным превращениям. В настоящее время наиболее распространена точка зрения П. А. Ребиндера (Сергеев и др., 1971), который связывает тиксотропное разжижение с тем, что при встряхивании увлажненного грунта разрушаются непрочные связи между отдельными частицами. Свободная вода на месте бывших контактов на поверхности частиц образует пленку, ослабляя или совершенно разрушая ранее имеющиеся связи. Особенно легко эти связи разрушаются на поверхностях с малым радиусом кривизны. Однако после снятия динамических (меняющихся) напряжений прежние связи легко

восстанавливаются. Если между частицами связи имели водно-коллоидную или коагуляционную природу, то после тиксотропного разрушения они обычно восстанавливаются. Происходит тиксотропное упрочнение. Если эти связи имеют более сложную природу, т. е. наряду с водноколлоидными имеются и кристаллизационные связи, то после разжижения связи полностью не восстанавливаются (Гуменский, Новожилов, 1961).

Потеря прочности грунта при динамических нагрузках проходит три стадии: 1) при малых нагрузках структурные связи сохраняются полностью до тех пор, пока вибрационная нагрузка не превысит некоторого предела (предел структурной прочности при динамическом воздействии, по Б. М. Гуменскому); 2) при возрастании нагрузок во второй стадии часть структурных связей нарушается, а некоторая их часть сохраняется, для полного разрушения требуется некоторое время; 3) когда динамическая нагрузка превысит некоторую критическую величину (ускорение связности), структурные связи разрушаются полностью и грунт переходит в текучее состояние.

Обычно, изучая тиксотропные свойства в лабораторных условиях, исследуют зависимость сцепления C , г/см² от ускорения колебаний a , мм/с². Зависимость $C=f(a)$ имеет вид выпукло-вогнутой линии. Максимум C совпадает с нулевым значением a . Точки выпуклого и вогнутого перегибов разделяют процесс на описанные выше три стадии.

Тиксотропное упрочнение изучают, выясняя зависимость изменения предельного напряжения сдвига P во времени T после снятия нагрузки. Вид функции $P=f(T)$ и характеризует это явление (Сергеев и др., 1971).

На тиксотропные свойства оказывает влияние гранулометрический состав. Опыт показывает, что тиксотропные явления возникают только тогда, когда грунт содержит глинистые частицы. Разные грунты начинают проявлять тиксотропные свойства при разном количестве воды. Для выявления этих различий введено понятие тиксотропный предел, под которым понимается отношение объема жидкости к объему твердой компоненты в момент, когда разжиженная глина течет после встряхивания и остается неподвижной через минуту покоя. Чем больше величина тиксотропного предела, тем более тиксотропными свойствами обладает грунт.

По данным А. А. Босвела (Сергеев и др., 1971), у глин различного минералогического состава на каждые 100 г сухого вещества тиксотропный предел оказался разным. Для глин:

монтмориллонитовх	— 700—1350 г,
бейделлитовых	— 170—250 г,
гидрослюдистых (иллитовые)	— 110—170 г,
галлуазитовых	— 80—110 г,
каолинитовых	— 70—95 г.

Тиксотропные свойства зависят от состава поглощенных оснований и подчиняются гидрофильному ряду. Наименьший тиксотропный предел у трехвалентных оснований:



На увеличение тиксотропности грунтов оказывает влияние химический состав воды. Слабые растворы увеличивают тиксотропность, сильные — облегчая свертывание коллоидов, уменьшают потенциальную тиксотропность.

Явление тиксотропности может начинаться при любом уровне увлаженности. Как показали исследования Б. М. Гуменского и Г. Ф. Новожилова, при интенсивном вибрационном воздействии в тиксотропное состояние могут переходить грунты даже полутвердой консистенции, хотя принято считать, что наиболее часто тиксотропные свойства проявляют себя при пластичной и вязкотекучей консистенциях.

В настоящее время все породы, обладающие тиксотропными (пльвуиными) свойствами, разделяют на две большие группы: 1) породы, лишенные структурных связей; 2) породы с конденсационно-коагуляционными структурными связями. Последние далее делят на: а) песчано-коллоидные пльвуны; б) пылевато-коллоидные пльвуны; в) пльвунные глины (Сергеев и др., 1971).

Гидрофильные свойства грунтов и инженерно-геоморфологическая оценка местности. Гидрофильные свойства грунтов заслуживают особого внимания геоморфологов, прежде всего при анализе развития склонов. К сожалению, пока нет ни одного систематического исследования склонов и склоновых процессов с учетом меняющихся качеств грунта. В этой области есть лишь отдельные исследования. Так, например, описывая гидротермические процессы на склонах, Б. С. Русанов (1961) пишет, что в результате процессов попеременного увлажнения и усыхания, нагревания и охлаждения, замерзания воды в рыхлых породах и таяния грунтовых льдов постоянно меняется объем грунтовой массы. Такое попеременное увеличение и уменьшение объема приводит к медленному сползанию вещества на склоне. Оценивая это явление с позиций гидрофильности, можно думать, что медленное сползание грунтов (крип, десерпция, дефлюкция) связано с явлениями набухания и усадки.

Это явление следует отличать от пластических течений грунта на склонах в состоянии, когда их влажность превышает нижний предел пластичности W_p . Вероятно, и солифлюкция может иметь пластическую и вязкопластическую природу в одном случае, а в другом — ее следует связывать с тиксотропным течением грунтов.

И наконец, все многообразие оползневых явлений (осовы, оплывы, сплывы и т. п.) может быть понято гораздо глубже с позиций оценки степени гидрофильности грунтов. Это направление ждет своего развития. Когда будет выявлено наличие свя-

зей между типом течения и формой мезо- и микрорельефа, может быть получен и соответствующий геоморфологический критерий для инженерной оценки местности.

4.3.6. Теплофизические свойства пород различного происхождения

Теплофизические свойства пород могут быть оценены с помощью коэффициентов теплового расширения показателей теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности.

Тепловое расширение. Естественной реакцией грунта на нагревание и охлаждение является изменение его размеров. Величина деформаций, связанных с нагреванием, как это известно из элементарной физики, пропорциональна изменению температуры, а также некоторой величине, получившей название коэффициента теплового расширения. Различают две его разновидности — коэффициенты линейного α и объемного β расширения. Для каждого вещества, для каждой породы коэффициенты линейного и объемного расширения — величина постоянная с размерностью град⁻¹. Определение коэффициентов линейного расширения ведется по формуле

$$\alpha = \frac{l_1 - l_0}{l_0(t_1 - t_0)} = \frac{l}{l_0 \Delta t},$$

где l_0 — исходная длина; l_1 — длина после нагревания; $t_1 - t_0$ — разность температур.

Коэффициент объемного теплового расширения получают аналогичным образом, только вместо длин рассматриваются объемы:

$$\beta = \frac{V}{V_0 \cdot \Delta t}$$

Поскольку α — величина маленькая ($n \cdot 10^{-6}$ град⁻¹), то β имеет тот же порядок малости. Приблизительно можно считать, что $\beta = 3\alpha$. Это следует из простых рассуждений. Пусть элементарный объем будет равен единице ($V_0 = 1$), а прирост объема при повышении температуры на один градус ($\Delta t = 1$) будет равен

$$\beta = \frac{\Delta V}{1 \cdot 1} = \Delta V.$$

Аналогично можно получить, что $\alpha = \Delta l$.

Перепишем прирост объема в виде суммы

$$1 + \beta = (1 + \Delta l)^3 = 1 + 3\Delta l + 3(\Delta l)^2 + (\Delta l)^3$$

или заменяя $1 + \beta = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$.

Поскольку α величина маленькая, то ее квадрат и тем более куб будет величиной очень маленькой ($\alpha^2 = n \cdot 10^{-12}$ и $\alpha^3 =$

$=n \cdot 10^{-18}$). Этими малыми величинами можно пренебречь, и тогда после сокращений

$$\beta = 3\alpha.$$

Для конкретных грунтов коэффициенты теплового линейного расширения равны (град⁻¹):

граниты и риолиты	$8 \pm 3 \cdot 10^{-6}$
андезиты и диориты	$7 \pm 2 \cdot 10^{-6}$
базальты, габбро и диабазы	$5,4 \pm 1 \cdot 10^{-6}$
песчаники	$10 \pm 2 \cdot 10^{-6}$
кварциты	$11 \pm 2 \cdot 10^{-6}$
известняки	$8 \pm 4 \cdot 10^{-6}$
мраморы	$7 \pm 2 \cdot 10^{-6}$
сланцы	$9 \pm 1 \cdot 10^{-6}$
кварцевое стекло	$0,54 \cdot 10^{-6}$
кварц	$0,70 \cdot 10^{-6}$
железо	$12 \cdot 10^{-6}$

Теплоемкость. Различают удельную (весовую) и объемную теплоемкость. Удельная теплоемкость любого вещества представляет, как известно, свойство, характеризующее затраты тепловой энергии при нагревании 1 г его вещества на 1 °С. Ее размерность — кал/г·град. Теплоемкость грунтов C как многофазных систем складывается из теплоемкости каждого его элемента:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i X_i,$$

где C_i — удельная теплоемкость измеряемого элемента; X_i — его весовое содержание, i — порядковый номер элемента.

Поскольку средняя теплоемкость большинства минералов (минеральной части) близка к 0,2 кал/г·град, связанной воды равна 0,7, а свободной воды — 1 кал/г·град, то, пренебрегая величиной теплоемкости газов, содержащихся в породах (они имеют чрезвычайно малый вес и небольшую теплоемкость), можно весовую теплоемкость грунтов определить по формуле, предложенной П. И. Андриановым:

$$C = 0,2x + 0,7y + (W - y),$$

где x — весовое содержание минеральной части; y — весовое содержание связанной воды; W — весовая влажность.

Из этой формулы следует, что для сильнопористых сред, для которых x относительно мало, удельная теплоемкость сильно зависит от влажности. Так, при изменении влажности от 50 до 100% теплоемкость торфа растет в 6 раз, глин — в 4, песка — в 2,5 раза.

Удельная теплоемкость основных типов магматических пород приведена в табл. 14.

Удельная теплоемкость различных типов пород

Порода	Теплоемкость, кал/г·град	Порода	Теплоемкость, кал/г·град
Гранит	0,16	кварцит	0,17
Диорит	0,15	мрамор	0,19
Габбро	0,17	глинистый сланец	0,18
Гранодиорит	0,17	песок	0,17—0,20
Диабаз	0,17	глина	0,18—0,24
Базальт	0,20	песчаник	0,18—0,24
Гнейс	0,18	доломит	0,22
Гранитогнейс	0,19	воздушно-сухой торф	0,41—0,49

Теплопроводность — свойство, характеризующее способность вещества проводить тепло. Обычно она оценивается коэффициентом теплопроводности λ , который определяет количество теплоты, проходящее через единицу площади в 1 с при градиенте термического поля, равном одному градусу на сантиметр. Размерности этой величины — кал/см·с·град. Теплопроводность воды равна 0,0014, льда — 0,0050, воздуха — 0,00005 кал/см·с·град. Большинство породообразующих минералов имеет коэффициент теплопроводности, равный 0,002—0,006 кал/см·с·град. Поскольку теплопроводность воздуха чрезвычайно мала, то при заполнении пор водой теплопроводность дисперсных грунтов увеличивается. Теплопроводность водонасыщенных грунтов по сравнению с сухими больше в 6—9 раз. Теплопроводность некоторых важнейших минералов и пород приводится в табл. 15.

Таблица 15

Теплопроводность некоторых пород и минералов

Породы, минералы	Теплопроводность, кал/см·с·град	Породы, минералы	Теплопроводность, кал/см·с·град
Гранит	0,0050—0,010	Торф	0,0003
Диорит	0,006	Глина	0,0003—0,0040
Базальт	0,0030—0,0070	Песок	0,0004—0,0085
Андезит	0,0030—0,0075	Песчаник	0,0015—0,0140
Сиенит	0,0045—0,0055	Известняк	0,0020—0,0100
Диабаз	0,0050—0,0060	Кварц	0,0090—0,0325
Дунит	0,012	Слюда	0,0015—0,0017
Гнейс	0,0040—0,0085	Маскитит	0,0126
Мрамор	0,0048—0,0085	Гипс	0,0031
		Ортоклаз	0,010

В целом теплопроводность зависит от плотности, теплоемкости, минералогического состава, сложения и влажности грунтов.

Температуропроводность. Наряду с показателем теплопроводности используется и коэффициент температуропроводности K , $\text{см}^2/\text{с}$:

$$K = \frac{\lambda}{C_v} = \frac{\lambda}{\rho C},$$

где λ — теплопроводность; C_v — объемная теплоемкость; C — удельная теплоемкость; ρ — плотность.

Температуропроводность пород увеличивается при их увлажнении.

Термические свойства пород и инженерно-геоморфологическая оценка местности. Термические свойства пород геоморфологи должны учитывать при оценке различного рода процессов. Среди них важнейшее место занимают процессы физического выветривания и температурная составляющая, вызывающие медленное перемещение обломочного чехла на склоне. Особенно важно их учитывать при оценке явлений, связанных с периодическим промерзанием и оттаиванием пород (табл. 15).

Для оценки возможностей разрушения коренных пород в результате колебания температур необходимо сравнивать термические деформации с упругими на рубеже критических давлений у предела упругости.

При оценке температурных колебаний в определенном перемещении рыхлых масс на склоне следует иметь в виду, что из-за слабой температуропроводности амплитуда колебаний температуры с глубиной резко падает. Суточные колебания проникают на глубину до 90 см, годовые и многолетние температурные колебания — до глубины около 20 м; ниже идет зона постоянных температур. В результате можно думать, что этот фактор (колебания объема в связи с изменением температур) будет действовать лишь в приповерхностной зоне, захватывая слой мощностью в несколько сантиметров.

4.3.7. Физико-механические свойства пород различного состава

Упругие свойства пород играют важную роль в инженерной оценке местности. В инженерной геологии их изучение проводится главным образом для определения несущих свойств пород оснований фундаментов. С помощью упругих характеристик пород также проводится оценка устойчивости стенок карьеров и естественных откосов. В этой области накоплен значительный фактический материал и установлены некоторые закономерности, знание которых совершенно необходимо для геоморфологии.

Большинство пород находится под воздействием внешней нагрузки. Обычно их величина связана с весом вышележащих пород и искусственных сооружений. Поведение твердого вещества под нагрузкой изучается специальной наукой — реологией.

Обычно принято связывать между собой напряжение, деформацию и время. При малом напряжении в твердом теле возникают упругие деформации, которые исчезают после снятия напряжения. В противоположность упругим остаточные деформации сохраняются и после снятия напряжения. Они возникают в теле при критических напряжениях. Остаточные деформации подразделяются на хрупкое разрушение и пластические деформации. Первые обычно представляют собой мгновенную реакцию на разрушающие условия. Проявление пластических деформаций требует уже некоторого времени. Физико-механические свойства пород обычно характеризуются модулем деформации (модуль Юнга), коэффициентом поперечного расширения (коэффициентом Пуассона), а также критическими напряжениями, определяющими сопротивление пород раздавливанию и сдвигу.

Упругие свойства пород. При напряжении, не превышающем предела упругости, величина деформаций может быть разложена на две составляющие: условно-мгновенную часть и упругое последствие (Сергеев и др., 1971). Для приближенных расчетов обычно используют закон Гука, который гласит, что деформация пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна некоторой величине, характеризующей упругие свойства вещества (модуль Юнга):

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l},$$

где σ — напряжение; Δl — удлинение; l — первоначальная длина; E — модуль Юнга.

Для более полных расчетов используют и некоторые другие показатели: коэффициент поперечного расширения (коэффициент Пуассона) μ ; модуль сдвига G ; модуль объемного сжатия K ; касательные напряжения τ ; деформацию сдвига γ ; гидростатическое давление P_0 ; относительную объемную деформацию θ ; $e_{пр}$, $e_{пол}$ — продольную и поперечную деформации.

Эти показатели связаны между собой следующими зависимостями:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)} = \frac{E \cdot G}{3(3G-E)} \quad \sigma = E \cdot e_{пр};$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{9K-E}{3KE} \quad e_{пол} = -\mu \cdot e_{пр};$$

$$E = \frac{9K \cdot G}{3K+G} = 3K(1-2\mu); \quad \tau = G \cdot \gamma;$$

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 = \frac{3K-E}{6K}; \quad P_0 = -K \cdot \theta.$$

Породы по-разному реагируют на одну и ту же нагрузку. В табл. 16 приводятся характеристики модуля деформации E и

Модуль Юнга и коэффициент Пуассона для некоторых пород
(Справочник физико-химических констант горных пород, 1969)

Породы	Модуль Юнга (E). Если $E = n \cdot 10^{-6}$ Мбар, то n изменяется		Изменение коэффициента Пуассона (μ)	
				д)
Гранит	0,213	0,705	0,045	0,259
Базальт	0,485	1,115	0,22	0,384
Диабаз	0,72	1,161	0,103	0,284
Диорит	0,55	0,87		0,25
Алдезит	0,27	0,54	0,16	0,18
Габбро	0,584	1,051	0,114	0,25
Гнейс	0,033	0,70	0,03	0,146
Лед	0,0917	0,109		0,365
Известняк	0,017	0,789	0,156	0,32
Мрамор	0,232	0,724	0,17	0,37
Обсидиан		0,656	0,08	
Песчаник	0,060	0,745	0,06	0,29

Примечание пределы колебаний даны для разного числа испытаний и говорят о порядке величин.

коэффициента поперечного расширения μ для некоторых пород.

Прочность пород характеризуется также временным сопротивлением сжатию. Разрушающие нагрузки для различных пород равны (кг/см²):

гранит	1500—2200
базальт	2500—3000
известняк	50—1000
песчаник	500—1800.

На упругие свойства скальных пород оказывают влияние минералогический состав пород, пористость и трещиноватость, а также размеры зерен.

Породообразующие минералы по своей упругости делятся на четыре группы: 1) упругость превышает упругость стали — $2,10^6$ кг/см² (корунд, шпирит, графиты, оливины, магнетит, гематит, циркон); 2) высокая упругость (диопсид, эпидот, авегит, роговая обманка, флюорит, апатит); 3) средняя упругость (кварц, полевые шпаты, слюды, кальцит); 4) низкая упругость (серпентин, гипс).

Различия в минералогическом составе проявляют себя лишь при малой пористости и трещиноватости. При увеличении пористости и трещиноватости упругие свойства ухудшаются. При росте трещиноватости коэффициент упругости может сокращаться в несколько (четыре-пять) раз. В силу этого на упругие свойства пород большое влияние оказывает степень выветрелости по-

род. Так, по данным Б. П. Бишкова (Сергеев и др., 1971), модуль упругости гранита, взятого на поверхности, был равен $1,61 \cdot 10^{-5}$ кг/см², в то время как образец, полученный с глубины 49 м, имел модуль упругости $5,97 \cdot 10^{-5}$ кг/см², т. е. упругость может быть уменьшена в четыре и более раз. Получены данные и об уменьшении упругости с понижением температуры.

Прочность дисперсных грунтов необходимо рассматривать отдельно для связанных и рыхлых несвязанных грунтов. Для рыхлых связанных грунтов характерно изменение прочности в широких пределах, что тесно связано с их гидрофильностью. Природа прочности глинистых минералов сложна. Большинство их вследствие малых размеров могут притягиваться друг к другу и удерживаться молекулярными силами (электрические силы). Глинистые частицы имеют чешуйчатую форму. Максимальные электрические заряды в пределах чешуек тяготеют к их углам и ребрам, поэтому именно здесь наблюдаются утолщения водно-коллоидных пленок.

При дегидратации грунта коллоидные частицы перемещаются в сторону энергетических центров и, как отмечают С. С. Морозов и Е. М. Сергеев, создают у вершин и ребер своеобразные «мостики», связывающие частицы между собой. Упрочнению способствуют и кристаллизационные связи, возникающие за счет выпадения из растворов солей. Чем больше влажность, тем толще водно-коллоидные пленки, тем меньше сцепление частиц и упругость глины. Высокие давления способствуют сближению минеральных частиц и усиливают упругость связанных грунтов.

Как показали опыты Н. Я. Денисова (1953), при повышении давления дисперсность глины не растет. При высоких давлениях уменьшаются лишь их пористость, гигроскопичность и теплота смачивания.

Для характеристики несущих свойств пород в лабораторных условиях проводятся два типа исследований: компрессионные испытания и установление законов консолидации. Компрессионные испытания выявляют особенности поведения грунтов при нарастающей нагрузке. За показатель, раскрывающий упругие свойства, принимается относительная вертикальная деформация грунта при нагрузке P . По мере нарастания нагрузки пористость вначале убывает быстро, затем все более и более медленно. Увеличение нагрузки осуществляется прерывисто-ровными порциями (ступенями) при равных интервалах времени. Величина ступеней может меняться от 0,5 кг до нескольких килограммов. Так же изменяются и интервалы времени — от нескольких минут до нескольких часов. Консолидация выявляет закономерности изменения пористости во времени при неизменной нагрузке.

Исследования показали, что величина сжатия глины зависит от: 1) гранулометрического состава (чем тоньше глины, тем большие деформации они испытывают при равных условиях);

2) минералогического состава (деформации монтмориллонитовых глин при прочих равных условиях больше, чем у каолининовых); 3) от состава поглощенных оснований (одновалентные катионы увеличивают деформации по сравнению с двухвалентными, наибольшей упругостью обладают грунты с преобладанием трехвалентных катионов в поглощенном комплексе).

Величина сжатия в компрессионных испытаниях зависит от особенностей нагрузки: 1) чем больше степень нагрузки, тем больше сжимаемость; 2) чем больше скорость нарастания нагрузки, тем больше деформация. Опыт показывает, что расчетная величина бывает больше, чем та, которая возникает в ходе строительства.

В инженерных изысканиях для расчетов компрессионных показателей обычно используются следующие параметры: коэффициент пористости e_0 , коэффициент пористости при данной нагрузке e_p , показатель относительной вертикальной деформации e_p , коэффициент сжимаемости или уплотнения a , коэффициент компрессии a_k и модуль сжимаемости e_a , коэффициент осадки λ , модуль осадки e'_p . Между ними существуют следующие связи:

$$e_p = e_0 - \frac{\lambda h}{h_0} (1 + e_0) = e_0 - 1_p(1 + e);$$

$$e_p = \frac{\Delta h}{h_0};$$

$$a = \frac{\Delta e}{\Delta P};$$

$$a_k = \frac{\Delta e}{\Delta/gP};$$

$$\lambda = \frac{\Delta h}{h_0};$$

$$e'_p = 1000 \frac{\lambda h}{h}$$

Н. И. Маслов (1941) предлагает величину e'_p вычислять при нагрузке $P=3 \text{ кг/см}^2$. Характеристика сжимаемости после этого может быть выражена в категориях сжимаемости (табл. 17).

Если проводить компрессионные испытания в виде последовательной смены нагрузок грунта, чередующихся с его полной разгрузкой, то можно обнаружить, что наряду с восстанавливающимися возникают необратимые деформации. При циклической смене нагрузки и разгрузки грунта можно обнаружить петли «гистерезиса». Осн этих петель образуют некоторый угол α с осью абсцисс. Котангенс этого угла называют модулем гистерезиса $E_r = ctg \alpha$. Обычно после некоторой серии испытаний вели-

Категория сжимаемости грунта (по Н. Н. Маслову)

Модуль осадки, мм/м $e'_p = 1000 \frac{\Delta h}{h}$	Категория грунта по сжимаемости	Характеристика сжимаемости
1	0	практически несжимаемая
1—5	I	слабая
5—20	II	средняя
20—60	III	повышенная
>60	IV	сильная

чина остаточных деформаций уменьшается, петли сливаются и напряжение в грунте будут вызывать только упругие деформации.

Рассматривая деформации глин при малых напряжениях, можно выделить упругие деформации и деформации остаточные, убывающие в ходе циклических компрессионных испытаний. Кроме того, по мере роста нагрузок могут возникнуть еще и деформации, связанные со значительными смещениями частиц относительно друг друга. В этом случае говорят о ползучести. Ползучесть глин обнаруживается при критическом перепаде давления в 6—14 кг/см² и происходит со сдвигом.

Компрессионные испытания лёссов позволили выявить их отличительное свойство — изменять объем под напряжением при замачивании. Для выявления степени просадочности обычно проводят компрессионные испытания, доводя нагрузку до 3 кг/см², после чего грунт замачивается. Наличие или отсутствие просадки хорошо фиксируется по компрессионной кривой (рис. 10). Если при замачивании происходит резкое уменьшение коэффициента пористости, то можно утверждать, что грунт обладает просадочными свойствами. Обозначим величину коэффициента пористости e'_p при нагрузке в 0,3 МПа до замачивания, а через e''_p — тот же показатель после замачивания. Тогда разность между этими величинами e_m можно принять за показатель просадочности. Поскольку причину просадок связывают с макропористостью грунта, то величину принято называть коэффициентом макропористости. Далее его используют для оценки просадочности с помощью специального коэффициента i_m :

$$i_m = \frac{h_p - h'_c}{h_p}$$

где i_m — коэффициент просадочности; h_p — высота образца под нагрузкой, 0,3 МПа до замачивания; h'_c — то же после замачивания.

У просадочных разновидностей лёссов i_m превышает 0,02. Просадочные лёсы обладают малой гидрофильностью, высокой

пористостью, присутствием карбоната кальция в количестве более 10 %, повышенным содержанием водорастворимых солей:

Сжимаемость крупнообломочных и песчаных пород зависит от ряда факторов, в частности от: 1) минералогического состава; 2) структурно-текстурных особенностей грунта (размер частиц, форма, характер поверхности, упаковка и др.); 3) влажности; 4) величины напряжения; 5) характера нагрузки (статическая или динамическая).

Минералогический состав проявляет себя в упругих деформациях в соответствии с присущими им свойствами. Высокоупругие минералы, как правило, придают высокую упругость и всей толще. Однако большинство песчаных толщ состоит из среднеупругих минералов. Имеются и исключения: слюды увеличивают общую сжимаемость песков и долю их обратимой деформации. Наличие кварца, полевого шпата из-за их разрушения под давлением вызывает необратимые деформации. Чем больше минералов, обладающих небольшой механической прочностью (например, глауконита), содержится в грунте, тем больше деформации.

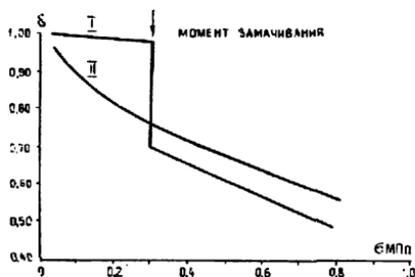


Рис. 10. Компрессионная кривая просадочного (I) и непросадочного (II) грунтов

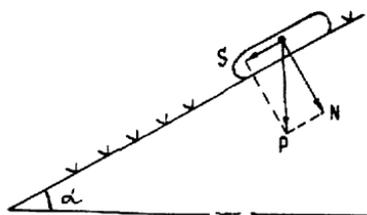


Рис. 11. Силы, действующие на тело, свободно лежащее на склоне

Гранулометрический состав оказывает заметное влияние на сжимаемость песков. Обычно под давлением растет фракция пыли за счет уменьшения зерен размером более 0,1 мм. Быстрее дробятся полиминеральные зерна и пески, обладающие малой сортированностью. Крупные частицы под напряжением дробятся быстрее, чем тонкие. Замечено, что рыхлые пески уплотняются при вибрации. Виброуплотняемость зависит от крупности и формы зерен. Тонкозернистые пески при вибрации имеют большую способность к уплотнению. Уплотнению способствует и окатанность зерен.

Под воздействием вертикальной нагрузки дисперсные грунты уплотняются. При этом возникает дополнительное давление из-за стремления грунта расширяться — давление бокового распора. Оно составляет лишь часть вертикального давления. В глинах величина бокового распора меняется в зависимости от

коэффициенту от 0,5 до 1 по отношению к вертикальному давлению. Это отношение часто называют коэффициентом бокового распора ϵ :

$$\epsilon = \frac{P_{\text{гор}}}{P_{\text{верт}}},$$

где $P_{\text{гор}}$ и $P_{\text{верт}}$ — горизонтальное и вертикальное давление.

Для песков, по данным М. Н. Голубцовой, величина ϵ зависит от сложенности, дисперсности песка, окатанности, коэффициента внутреннего трения. С увеличением внутреннего трения боковой распор уменьшается; окатанность зерен уменьшает горизонтальное давление; у тонкозернистых песков боковой распор меньше, чем у более крупных. С боковым распором связано образование трещин бокового отпора. Они образуются вдоль стенок карьеров, особенно часто в глинистых грунтах.

Сопротивление грунтов сдвигу. Характеристики сопротивления грунтов сдвигу относятся к категории предельных нагрузок, превышение которых вызывает нарушение в плоскости, не совпадающей с осью главного напряжения. Напряженность, которая возникает в поперечной и диагональной плоскостях, раскрывает особую сторону упругих свойств вещества. Сопротивление грунтов сдвигу является величиной, которая широко используется в различных расчетах, в частности при определении устойчивости стенок карьеров, начала оползневых процессов и др. Наиболее наглядно начало явления сдвига можно рассмотреть на примере склона и тела, свободно лежащего в пределах его поверхности (рис. 11). Если вес тела P разложить как вектор на две составляющие — силу сдвига S и силу N , с которой данное тело прижимается к поверхности склона, то, сопоставляя S и N , можно сделать заключение о возможности перемещения тела по поверхности склона. При $S > N$ тело неустойчиво, при обратном соотношении оно находится в покое; S и N связаны между собой отношением $S = N \cdot \text{tg } \alpha$.

В кристаллически связанных и рыхлых связанных грунтах сопротивление сдвигу определяется не трением, а силами сцепления; в рыхлых несвязанных грунтах — силой трения.

Н. Н. Маслов (1941) предлагает рассчитывать сопротивление сдвигу по формуле

$$S_{\text{пр}} = p \text{tg } \varphi_w + \Sigma_w + C_s,$$

где $S_{\text{пр}}$ — сопротивление сдвигу, кг/см²; p — сила, вызывающая напряжение; φ_w — угол внутреннего трения при данной влажности; Σ_w — водно-коллоидные силы сцепления при влажности w ; C_s — структурное сцепление.

Для кристаллических пород эта формула приобретает вид

$$S_p = p \text{tg } \varphi_w + C_{\text{ск}},$$

где все обозначения прежние, а $C_{\text{ск}}$ — структурно-кристаллическое сцепление.

Для рыхлых несвязанных грунтов сопротивление сдвигу можно рассчитать по формуле

$$S_p = p \operatorname{tg} \varphi + K,$$

где K — некоторый поправочный коэффициент, учитывающий сложение, размеры и форму частиц.

Из теории известно, что функция типа $y = ax + b$ имеет прямолинейный вид. Сравнивая теоретические и опытные данные, нетрудно видеть, что имеются, по-видимому, дополнительные факторы, осложняющие теорию. Так, например, сопротивление песков сдвигу имеет криволинейный характер (Гольдштейн, 1941). В первый момент сопротивление сдвигу больше расчетного. По-видимому, для начала движения частицы должны выйти из полупространств между другими зернами на поверхности песчаного откоса (рис. 12). Это обычно называют зацеплением зерен песка.

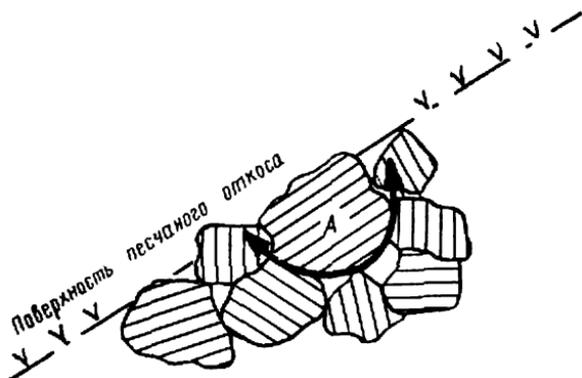


Рис. 12. Полупространство (показано жирной чертой), определяющее зацепление частицы А на песчаном откосе

Сопротивление сдвигу изучается на сравнительно простых приборах. Один из них представляет собой пустой короб, разрезанный по высоте на две части. Верхняя часть может передвигаться в горизонтальном направлении относительно нижней при некоторой нагрузке и имеет устройство, позволяющее наблюдать за величиной и скоростью деформации. Грунт с ненарушенной структурой помещают в короб. Обычно проводят три типа испытаний сопротивления грунтов сдвигу: а) под внешней нагрузкой; б) неуплотненных; в) пересушенных грунтов (после снятия внешней нагрузки). В этих испытаниях можно менять динамические характеристики сдвига: степени нагрузки, интервалы между увеличением ступеней. Опыты показывают, что характер динамических нагрузок оказывает существенное влияние на характеристики сдвига. Так, например, медленный

срез песков имеет прямолинейную зависимость, быстрый — криволинейную.

На величину сопротивления сдвигу песков большое влияние оказывают минералогический и гранулометрический составы, цемент химических новообразований и влажность.

Минералогический состав оказывает влияние главным образом через форму зерен, определяющую величину внутреннего трения. Наименьшим сопротивлением сдвигу обладают уплотненные минералы (слюда); большой прочностью — окатанные зерна; еще более прочными являются остроугольные зерна. Гранулометрический состав песков влияет на сопротивление сдвигу по принципу: чем крупнее песок, тем больше угол внутреннего трения, тем больше сопротивление сдвигу. Наличие новообразований, адсорбционных пленок в песке увеличивает их внутреннее трение, а стало быть, и сопротивление сдвигу. У чистых песков, в которых примесь глины не превышает 2%, угол внутреннего трения при повышении влажности вначале немного увеличивается за счет образования пленочной воды, затем начинает быстро падать, достигая минимума при полном водонасыщении. Угол внутреннего трения песков оказывает большое влияние на величину угла естественного откоса.

Сопротивление сдвигу у глинистых грунтов также зависит от целого ряда факторов, главными из которых являются: 1) минералогический состав. Сопротивление сдвигу уменьшается с ростом гидрофильности глины: иллита, каолинита, монтмориллонита; 2) структура. Величина уменьшается с уменьшением плотности, числа водорастворимых включений и новообразований; 3) дисперсность. Величина уменьшается с ростом дисперсности глины; 4) состав обменных катионов. Сопротивление сдвигу растет в зависимости от величины ионного радиуса: $\tau_{Cl} < \tau_{Na} < \tau_K$; 5) влажность. Чем больше влажность глины, тем меньше сопротивление сдвигу; последнее приближается к нулю при текучей консистенции глины; 6) текстура. Наличие слоистости, трещиноватости в глинах вызывает анизотропность в распределении свойств сопротивления сдвигу. Вдоль слоистости (трещиноватости) сопротивление сдвигу падает, а в перпендикулярном направлении оказывается значительным.

Исследования Н. Я. Денисова (1953) показывают, что характер деформации сдвига глины, так же как и песков, зависит от динамики напряжений. При быстром сдвиге график деформации имеет вид выпуклой кривой. При медленном увеличении нагрузок вид функции близок к прямой. Интересно, что совмещение обоих графиков дает точку пересечения H . Если из нее опустить перпендикуляр на ось абсцисс, то полученное давление равно давлению шабухания.

Угол естественного откоса. Углом естественного откоса α называется угол наклона поверхности свободно насыпанного несвязанного грунта к горизонтальной плоскости (Сергеев и др., 1971). Угол естественного откоса обычно отождествляется с уг-

лом внутреннего трения ϕ . Однако это справедливо лишь для идеальных сыпучих сред. Для реальных грунтов необходимо учитывать еще и явление зацепления. Кроме того, имеются некоторые отличия в скольжении и скатывании частиц. Движение частицы по откосу зависит от формы частицы и характера наклонной поверхности. Для идеально ровной поверхности и шарообразной частицы угол, соответствующий углу ее покоя, будет близок нулю градусов. Для сыпучих грунтов поверхность откоса, сложенная ими, будет шероховатой. Размер и форма микронеровностей определяются размером и формой самих частиц.

Опыты показывают, что на величину угла естественного откоса заметное влияние оказывают дисперсность частиц, форма обломков, влажность, условия работы откоса (статические, динамические нагрузки, наличие выходов грунтовых вод, наличие фронта фильтрации).

Воздушно-сухие грунты обладают свойством держать естественный откос в пределах от 30 до 40° . Окатанность зерен способствует уменьшению угла естественного откоса α . Листоватые чешуйки (мусковит) могут обладать повышенными значениями угла α . Для фракций песка нет выраженной связи между средней крупностью и углом естественного откоса. И даже можно видеть, что добавки крупных фракций в песчаной смеси уменьшают угол естественного откоса, однако α правая больше α песка. Неоднородность осадков, уменьшая глубину зацепления, уменьшает угол естественного откоса.

Влажность песков до $5-10\%$ повышает угол естественного откоса за счет действия капиллярных сил. В дальнейшем с повышением влажности угол естественного откоса уменьшается у различных грунтов по-разному: у сильно склюженных песков — на $10-15^\circ$, у кварцевого окатанного песка — на $3-4$, а кварцевого неокатанного — на $5-10^\circ$. Полевые опыты в этом отношении близки к кварцу.

Вибрация песчаного откоса под водой приводит к разжижению грунта, и откос выполаживается до 5° . Фильтрационный поток, направленный в сторону откоса, уменьшает угол откоса, и он будет равен углу для спокойной воды. При обратном направлении потока будут отмечаться разжижение грунта, его оплывание и выполаживание.

Упругие свойства пород и рельефообразование. Упругие свойства пород играют большую роль во многих природных процессах, определяющих ход рельефообразования. Их можно оценивать, начиная с процессов физического выветривания коренных пород. Физическое изменение пород связано с образованием остаточных деформаций трещин, которые, расширяясь, отделяют частицу от основного массива. Затем отделенная частица начинает двигаться или самостоятельно (осыпание, обваливание), или в особой среде, начало движения которой совпадает критическим напряжением, обуславливающим возникновение пла-

стических или разрывных деформаций в среде (оплывание, пластическое течение, оползни).

При сопоставлении упругих и термических свойств пород можно установить возможность разрушения скальных пород, имеющих дефекты прочности, под воздействием изменения температуры. Зная коэффициент теплового расширения пород и их модуль Юнга, можно вычислить температуру, которая вызовет деформации, равные упругим деформациям при критических значениях упругих напряжений. Пусть предел прочности образца гранитов равен 2000 кг/см^2 , а его модуль Юнга — $0,6 \cdot 10^{10} \text{ кг/см}^2$. Тогда предельная критическая упругая деформация $\epsilon_{кр}$ на каждую единицу будет равна

$$\epsilon_{кр} = \frac{\sigma_{кр}}{E} = 0,003.$$

Пусть для того же образца коэффициент теплового расширения равен $9 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, тогда температура критического разрушения может быть получена из отношения

$$t = \frac{\epsilon_{кр}}{L}$$

Для данного случая t равняется 333° . Таким образом, для разрушения гранитов их нужно мгновенно нагреть до 300° . Этот простой расчет показывает, что естественный ход колебаний температур недостаточен для разрушения гранитов. А поскольку их разрушение в годовом ходе колебаний температур происходит, то можно говорить о том, что скальные грунты в зоне сезонных колебаний температур обладают скрытыми дефектами прочности, которые обнаруживают тенденцию к саморазвитию. Исходной причиной дефектов прочности могут быть большие статические нагрузки, связанные с весом ранее существовавших пород, уничтоженных денудацией. Кроме того, необходимо учитывать и тектоническую напряженность массивов.

Упругие свойства пород необходимо иметь в виду при анализе форм рельефа, связанных с морозобойным трещиноватозавыванием. Вообще изучение трещиноватости и элементов рельефа позволяет объяснить многие черты морфологии земной поверхности: рисунок и густоту речных долин, простирающие склоны, абрис останцов физического выветривания, морфологию карста и многое другое. Зная связь рельефа с трещиноватостью и прежде всего с открытыми трещинами, можно получать и обратное представление — о трещиноватости горных массивов. Последняя проблема особенно важна при инженерной оценке местности, особенно при строительстве долговременных сооружений (речных плотин, туннелей и др.).

4.3.8. Возможность геоморфологической индикации свойств пород при проектировании строительства

Проведенный выше анализ позволил увидеть не только генетическую связь рельефа и рыхлых отложений, но и многие важные направления совместного их анализа. Как было показано, большинство свойств горные породы приобретают в ходе их образования и последующего преобразования. Те из свойств, которые возникают в начальную фазу генезиса осадков, наиболее полно связаны с условиями среды, а также с теми факторами, которые создают горные породы на поверхности Земли. В число этих условий непременно входит рельеф. Влияние рельефа на формирование тех или иных свойств осадочных отложений известно лишь в самых общих чертах. Хотя наукой накоплен огромный материал, все же под этим углом зрения он проанализирован пока еще недостаточно. И это вполне понятно, так как специалисты инженеры-геологи изучают эти свойства, выясняя их физическую и химическую природу, ограничиваясь привлечением геоморфологических материалов только для определения происхождения грунтов. В меньшей мере их интересует возможность индикации этих свойств другими методами. Ведь сначала необходимо эти свойства выявить и изучить их природу. Лишь после этого можно вести поиск облегченных методов их распознавания. Кроме того, и сама возможность точного определения этих свойств геоморфологическими методами не очевидна. И можно лишь предположить, что геоморфологические методы будут выполнять некоторые из индикационных функций.

Геоморфологические методы полезны для оценки свойств пород не столько в точке, сколько в ареале распространения тех или иных генетически однородных горных пород. Вероятно, геоморфологи должны уточнить свои возможности детального анализа процессов рельефообразования и связанных с ним процессов осадконакопления. Широкому применению индикационных геоморфологических методов должно предшествовать становление новой комплексной дисциплины — учения о морфолитогенезе. Первые работы в этой области показывают, что морфолитогенетический анализ дает свои результаты лишь при проведении специальных исследований в достаточно крупном масштабе. Объектом исследования геоморфологов в этом случае должен стать микро- и нанорельеф. Степень изученности этих образований в геоморфологии остается еще близкой, и это не может не затруднять развития индикационного метода в геоморфологии.

При использовании геоморфологических методов изучения литифицированных осадочных, метаморфических и магматических пород в центре внимания оказываются также массив, слой, толща, которые на поверхности образуют некоторый литологический (петрографический) ареал. Возможности распознавания свойств этих классов пород тесно связаны с углублением наших представлений об особенностях избирательной денудации. В ча-

стоящее время более изученными в геоморфологии оказались свойства трещиноватости пород и прежде всего тектоническая их трещиноватость. Малая изученность возможностей геоморфологической индикации других свойств пород объясняется тем, что до настоящего времени геоморфологи уделяли недостаточное внимание связям рельефа со свойствами пород. Учет литологического фактора в формировании рельефа остается все еще недостаточным.

Вероятно, развитие индикационного направления в геоморфологии может обогатить и наши представления, если использовать обширные знания о свойствах горных пород, накопленные инженерами-геологами и грунтоведами. Таким образом, развитие этого направления в инженерной геоморфологии могло бы способствовать развитию и всей геоморфологии как науки.

5. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РЕЛЬЕФА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

5.1. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ РЕЛЬЕФА

Одно из важных условий нормального функционирования инженерных сооружений — отсутствие в пределах их расположения таких природных явлений, которые могли бы нарушить устойчивость их фундаментов или нанести повреждения надземным частям сооружений. Большинство этих явлений связано с процессами, протекающими в недрах на различной глубине, также на земной поверхности. К ним относятся различного рода провалы, оползни, землетрясения, а также сели, лавины, разливы рек и другие процессы. Многие из них относятся к рельефообразующим, так как их проявление сопровождается изменениями в рельефе. Некоторые из них протекают медленно, другие катастрофически быстро. Их проявление изменяет рельеф с различной скоростью, и поэтому можно говорить о геоморфологической устойчивости местности. Анализ, оценка ее устойчивости является одним из видов инженерно-геоморфологической оценки территории.

Общие черты рельефа изменяются обычно достаточно медленно. Особенно благоприятны для строительства равнинные территории, хотя и в их пределах есть такие участки, где рельеф поверхности меняется буквально на глазах. Быстро протекающие рельефообразующие процессы часто являются катастрофическими и вызывают не только преобразование рельефа, но и наносят огромный ущерб хозяйству страны, приводя и к человеческим жертвам. Катастрофические явления обычно возникают внезапно. Они трудно предсказуемы и поэтому опасны. Естественно желание определить возможность проявления тех или иных грозных природных явлений, установить пространственные границы опасных зон, чтобы не создавать там крупных инженерных объектов, не сосредоточивать в них население, оберегая жизнь людей от опасности. А если строительство по каким-либо причинам в опасном районе необходимо, следует создать соответствующие средства инженерной защиты. В связи с этим важными являются оценка периодичности наступления этих событий, признаки надвигающейся опасности и возможность создания инженерных средств защиты.

Удивительна одна из особенностей истории освоения поверхности нашей планеты. По не установленным причинам человечество охотно осваивает «опасные места нашей планеты». В зоне вероятных стихийных бедствий — вулканических извер-

жений, разрушительных землетрясений, ураганов и наводнений — проживает чуть ли не треть человечества. Интересным является и то, что после катастрофы люди возвращаются на родное пепелище, восстанавливают разрушенное жилье и производственные комплексы. Конечно, при этом учитывается горький опыт истории, создаются новые технологии и новые типы инженерных сооружений. Принимая во внимание эту особенность человеческого поведения, следует с большей научной ответственностью решать те же задачи, отвечая на вопрос, где можно, а где не следует строить и что следует иметь в виду, осваивая заново или отстраивая разрушенную природными катастрофами территорию.

Закономерности проявления процессов изменения рельефа земной поверхности изучают ряд наук о Земле. Их синтез в настоящее время осуществляется в рамках нового научного направления которое получило название геодинамики.

Описывая рельеф той или иной территории в инженерно-геоморфологических целях, полезно определять его геодинамическую устойчивость. Ее характеристика должна включать в себя количественную оценку как эндогенных, так и экзогенных процессов, которые изменяют положение дневной поверхности или нарушают структуру пород в приповерхностной части литосферы, что в свою очередь может стать причиной катастрофических изменений рельефа Земли.

В инженерной геологии в настоящее время выделяют научное направление, которое названо инженерной геодинамикой. В поле ее зрения находятся все современные геологические процессы, важные для инженерной оценки территории, а также древние процессы, определившие ее геологическое строение (Сергеев, 1971). Цель этих исследований: 1) определить перечень природных явлений, с которыми могут столкнуться строители при возведении сооружений; 2) составить прогноз об интенсивности действующих процессов и тех, которые могут возникнуть при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Последние инженеры-геологи называют инженерно-геологическими процессами. В числе этих процессов обычно называют: 1) лодмыв берегов и их обрушение (морская и речная абразия); 2) размыв склонов (оврагообразование); 3) соли; 4) заболачивание; 5) просадки; 6) карст; 7) оползни; 8) суффозии; 9) львовуны; 10) развевание и навевание песков; 11) промерзание почвы и пучинообразование; 12) вечную мерзлоту и ее проявление; 13) осадки грунтов, их сжатие и пучение; 14) сейсмические явления; 15) поверхностные и подземные деформации при искусственных подземных глубоких выработках (Сергеев, 1971). Подобных классификаций существует большое число.

В нашем курсе следует подчеркнуть особо, что все процессы в приведенном перечне не только инженерно-геологические, но и рельефообразующие. В силу этого они изучаются не только геологами, но и геоморфологами. Каждый из этих процессов

и его проявления на Земле настолько своеобразны, что в большинстве случаев лишь только по рельефу удастся однозначно выделить тот или иной тип процесса. И чем сильнее его геодинамический эффект, тем лучше он выражен в рельефе. Большинство этих процессов — активные природные явления со строго определенной физико-химической природой. В их ходе создаются осадки, которые являются предметом исследования геологии. Но как это было показано в предыдущей главе, одновременно создаются и определенные формы рельефа. Механизм образования тех или иных их разновидностей находит отображение в структуре и текстуре, возникающих в ходе осадок. Но не в меньшей мере это выражается и сохраняется в современном и погребенном рельефе земной поверхности. Совместное изучение рыхлых отложений и рельефа взаимообогащает наши представления о сущности этих грозных явлений природы. Поэтому геоморфологический анализ указанных выше процессов может быть использован как метод в инженерно-геологических исследованиях. И его можно рассматривать как метод инженерно-геоморфологической диагностики.

Общий геоморфологический анализ территории, изучение истории развития рельефа и его возраста являются базой для морфогеодинамических заключений. Следы проявления активных рельефообразующих процессов сохраняются в рельефе по-разному. Одни из них быстро уничтожаются денудацией. Другие длительное время можно «прочитать» в рельефе. Чем древнее рельеф, тем менее четко в нем выражены следы былых геодинамических катастроф. Но если они обнаружены и определен их возраст, то это сразу же даст представление и о частоте грозных явлений, и о возможной пространственной композиции их проявлений. В силу этого геоморфологическая оценка территории в инженерных целях должна включать в себя и ее морфогеодинамическую характеристику. В дальнейшем будем использовать это понятие для оценки геодинамической устойчивости, которая определяется с обязательным учетом особенностей рельефа.

Известно, что человек в своей хозяйственной деятельности меняет ход многих рельефообразующих процессов. В результате изменяются частота проявления и интенсивность природных процессов, а иногда и возникают такие разновидности, которые, будучи природными по существу, не могли бы возникнуть в данное время и в данном месте без участия человека. Происходят они в ареалах распространения антропогенного рельефа и характеризуют его геодинамическую неустойчивость.

В геоморфологических исследованиях указанных явлений следует предварительно разделить эти процессы на эндогенные и экзогенные, рассмотреть их сначала отдельно и лишь затем определить их взаимозависимость и взаимное влияние. При изучении эндогенных явлений геоморфолог идет по пути выявления этих процессов на основании анализа степени их отражения в

рельефе. По своему существу это и есть геоморфологическая индикация.

При изучении экзогенных процессов можно также говорить о геоиндикации. Но изучение экзогенного рельефообразования должно осуществляться как анализ «живого» действующего процесса. Для его изучения важными становятся стационарные методы исследования.

5.2. РЕЛЬЕФ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Геологическая структура, так же как и рельеф местности, относится к относительно устойчивым, мало изменяющимся свойствам горных пород, слагающих недра. В силу этого ее анализ в рамках данной главы, посвященной вопросам геодинамики, может показаться неуместным. Однако краткий ее анализ оказался все же необходимым в связи с тем, что геологическая структура является одним из факторов рельефообразования. Рельеф любой территории, как известно, развивается на некоторой литологической основе. Пространственное размещение горных пород, различных по свойствам литологических комплексов, их плановая конфигурация, соседство отражены в геологической структуре, которая сформировалась в ходе геологической истории. В зависимости от различных процессов, протекающих в недрах, пласты горных пород могут залегать в одних случаях спокойно и их свойства будут сохраняться на больших пространствах, в других — они могут быть дислоцированы, смяты в складки и разбиты трещинами. В этом случае и свойства пород могут изменяться достаточно быстро, что обязательно отразится в рельефе местности.

Внешне однообразный спокойный рельеф может быть результатом отсутствия в пределах анализируемой местности резких, быстро протекающих рельефообразующих процессов. Но его геоморфологическое однообразие может определяться и особенностями геологической структуры. Часто эти две причины действуют совместно. Неспokoйный, резко меняющийся в пространстве рельеф, который внешне воспринимается как следствие проявления разнообразных процессов различной интенсивности, может оказаться достаточно устойчивым. Его многообразие может объясняться сложностью геологической структуры. Иногда в «неспokoйном» рельефе одновременно проявляют себя и сложная геологическая структура, и наличие быстро протекающих катастрофических явлений.

В силу этого, приступая к геодинамической оценке рельефа, геоморфолог в первую очередь должен оценить влияние на рельеф геологической структуры, т. е. разделить на две группы свойства рельефа: 1) связанные со структурой; 2) определяемые геодинамической обстановкой территории.

Типы геологических структур и процессы их образования детально описываются в учебных пособиях по динамической и

структурной геологии. Поэтому их описание здесь опускается.

Выраженность геологических структур в рельефе неодинакова, и это связано с различными причинами. Так, еще В. Дэвис обратил внимание, что геологическая структура горных пород бывает плохо выражена там, где реки глубоко врезаны, а склоны достаточно круты (стадии юности). Кроме того, структура маскируется и в выровненном рельефе денудационных равнин, прошедших длительный путь своего развития, находящихся в стадии старости. И лишь в стадии зрелости рельефа структурно-геологические особенности территории в рельефе местности заметны достаточно отчетливо.

Геологическая структура, выраженная в рельефе, может создавать отдельные формы или ее элементы. Такой рельеф получил название структурного рельефа. Эти формы образуются за счет преарирования поверхностей пластов, более устойчивых по отношению к денудации горных пород. В другом виде различия в стойкости пород выражаются перегибами поверхности склонов, и ниже бровок на поверхность выходят стойкие горные породы. Структурные формы рельефа более сложного вида образуются при преарировке различного вида интрузивных тел: пластовых интрузий, лакколлитов, даек и др.

Структурные формы рельефа чаще всего встречаются в предгорьях молодых складчатых гор — в их низкогорном обрамлении, а также на поднятых равнинах. Из структурных форм широко распространены структурные ступени, ступенчатые пластовые равнины и куэсты. В большинстве своем области широкого распространения структурного рельефа характеризуются относительно спокойной геодинамической обстановкой. Исключения представляют крутые склоны, на которых могут происходить оседания блоков, обвалы и оползни. На структурных поверхностях не исключается возможность возникновения карстовых процессов. Кроме того, в аридных условиях нередко ареалы развития преимущественно структурного рельефа прерываются транзитными речными долинами. Их днища могут быть ареной проявления катастрофических паводков и селей.

Особое место в геологической структуре занимают дизъюнктивы. В их числе обычно отмечают трещины и сгущения трещин. Трещины являются результатом реакции горных пород на тектонические напряжения или могут быть связаны с происхождением тел с историей развития горных пород — их уплотнением и разуплотнением, нагреванием и остыванием, намоканием и усыханием и др. По трещинам может наблюдаться движение отдельных блоков горных пород, в котором различают раздвиг, сдвиг, сброс, взброс, надвиг. Иногда наблюдается некоторая комбинация этих движений. Причиной образования трещин может быть и расчлененный рельеф местности. Образование трещин здесь связано с расседанием массивов. Последнее происходит из-за недостатка бокового гидростатического давления горных пород, уничтоженных денудацией. Процессы расседания вы-

зывают образование трещин растяжения в верхнем ярусе горных массивов. У основания их склонов породы испытывают сжатие. Смена деформации расширения на деформацию сжатия должна находиться на горизонтальной поверхности, проходящей через центр тяжести горного массива.

Дизъюнктивные структуры, особенно долгоживущие, обычно хорошо выражены в рельефе. Особенно это относится к трещинам растяжения. В рельефе они выражены отрицательными формами рельефа: оврагами, балками, речными долинами. Хуже выражены в рельефе зоны сжатия. Проявление дизъюнктивных зон в рельефе объясняется тем, что трещинообразование так же как и процессы выветривания, подготавливает горные породы к их денудации.

Изучая рисунок речной сети, обычно удается выявить и рисунок дизъюнктивных структур. Это часто используется в структурно-геоморфологическом анализе. Протяженность разрывных структур, ширина их зон и глубина заложения — величины взаимосвязанные (Шерман, 1977). Используя эти соотношения, геоморфологический анализ дизъюнктивов по характеру выраженности в рельефе позволяет делать прогноз их проявления на глубине в недрах, что важно при различного рода оценках условий освоения недр (Лукашов, 1987): шахтного строительства, условий эксплуатации подземных сооружений (обводненности штолен, горных ударов и др.). Анализ рисунка дизъюнктивных нарушений важен и для собственно геодинамических оценок: проявлений вулканизма, тектонических движений отдельных блоков и сейсмизации.

5.3. РЕЛЬЕФ И ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

При инженерной оценке территории выявление основных особенностей проявления современных эндогенных процессов представляет большой интерес. В настоящее время достаточно хорошо изучены и установлены все области возникновения мощных землетрясений и современного вулканизма. Ведутся наблюдения и за новейшими тектоническими процессами. Однако предсказание проявлений эндогенных процессов сталкивается с целым рядом трудностей. Поэтому остается актуальным использование разнообразных подходов и методов изучения таких территорий. Геоморфологическая индикация основывается на том, что эндогенные процессы являются основными факторами рельефообразования. Рельеф в своем морфологическом облике несет дополнительную информацию о характере эндогенных процессов. Особый интерес при этом представляют крупномасштабные геоморфологические исследования и базирующиеся на них инженерно-геоморфологические оценки.

При анализе геоморфологических процессов в рельефе необходимо использовать существующие геологические материалы, раскрывающие механизмы этих явлений, а также исторические

сведения. В последнем случае в виде архивных данных хранятся описания былых эндогенных катастроф, а иногда указываются и их даты. Однако и сам морфологический облик рельефа позволяет увидеть пространственные соотношения явлений. Необходимо лишь научиться выделять те или иные признаки рельефа эндогенного происхождения и уметь отделять их от черт рельефа экзогенной природы. Для каждого класса эндогенных процессов эти признаки неодинаковы. Подробно они описываются в соответствующих руководствах и учебных пособиях по геоморфологии. Здесь же следует обратить внимание на основной методический принцип геоморфологического анализа явлений трудно распознаваемой природы. Все современные представления о происхождении рельефа исходят из того, что рельеф есть результат совместного проявления эндогенных и экзогенных процессов, и схематически это можно записать в виде логической формулы: эндогенный рельеф + экзогенный рельеф = реальный рельеф. Отсюда следует, что если в современном рельефе разглядеть черты безусловно экзогенного происхождения и суметь их «вычлесть» из современного рельефа, то «остаток» уже окажется более эндогенным, чем исходный рельеф.

Этот подход удается реализовать при изучении проявлений современных тектонических процессов. В инженерной оценке современных тектонических явлений заинтересованы те ведомства, которые ведут эксплуатацию сооружений, при этом в функционировании их участвуют механизмы, требующие высокой стабильности их положения в пространстве и особой прочности фундаментов. К ним, в частности, относятся атомные электростанции, предприятия химической промышленности, высотные здания, тоннели, шахты и некоторые другие.

Для геоморфологической оценки как равнинных, так и горных территорий в этом случае весьма плодотворными оказываются представления о блоковом строении верхней части литосферы. Установлено, что существует некоторая иерархия блоков. Крупные разломы регионального уровня разделяют всю земную кору на блоки и уходят в верхнюю мантию. Несколько менее протяженные оканчиваются на границе Мохоровичича. Еще менее значимые разломы не проникают в условно базальтовый слой, а самые малые из них проникают лишь на глубину нескольких сотен метров (до первых километров). Каждый из этих разломов не представляет простой трещины, а может быть сложным их сочетанием, образуя в пространстве зону дробления (трещиноватости) различной ширины и протяженности. Наиболее разработанные или расширяющиеся зоны трещиноватости хорошо выражены в рельефе. В настоящее время существует несколько методик выделения блоковых структур, отличающихся только деталями (Орлов, 1968; Симонов, 1966; Волчанская, 1969; Башенина, 1964; Пиотровский, 1968).

В основе геоморфологических методов выделения блоков ле-

жит анализ рисунка речной сети, а также поля высот. Расположение речных долин позволяет провести «блоковую парезку», а анализ поля высот — выявить наличие вертикальной составляющей в движении блоков. Для окончательного суждения о тектонической подвижности отдельных блоков необходим учет влияния литологии горных пород и, в частности, оценка их противосдвигательной стойкости. Недоучет этого фактора может привести к ошибке. В частности, блоки, на дневную поверхность которых выходят более прочные породы, могут быть ошибочно оценены как активно поднимающиеся. При прочих равных условиях следует думать, что наиболее высокие блоки и поднимаются наиболее активно. В большинстве случаев геоморфологический анализ позволяет сделать лишь качественную оценку интенсивности тектонических движений и их направленность. Но и эта качественная оценка, если она выполнена для достаточно большой площади, позволяет высказать определенные суждения о поле тектонической напряженности изучаемой территории. Количественные же оценки бывают затруднены из-за отсутствия временных геоморфологических реперов, позволяющих оценить начало, а затем и скорость движения. Для более точных оценок необходимы детальные историко-геоморфологические исследования. Однако следует иметь в виду, что даже в этом случае количественные данные о скоростях тектонических движений оказываются средними за весьма большой срок. Скорости современных движений, измеренные специальными приборами, как правило, оказываются более высокими (нередко на порядок величин).

Геоморфологическая оценка тектонических движений обосновывается не только полем высот, но и распределением уклонов склона, неравномерностью распределения густоты и глубины эрозионного расчленения, а также деформациями геоморфологических уровней.

Оценка и прогноз землетрясений геоморфологическими методами — одно из мало разработанных направлений в геоморфологии. В предлагаемом учебном пособии круг этих вопросов более подробно рассматривается в специальном разделе о катастрофических явлениях. Здесь же следует заметить, что для изучения зон возможных землетрясений полезен блоковый геоморфологический анализ территории. Однако при этом наряду с общей картиной тектонической напряженности территории полезным оказывается выделение зон сжатия, сдвигов и надвигов. Следует думать, что главные узлы возможных землетрясений приурочены к некоторым пересечениям различных тектонических зон. Кроме того, поскольку магнитуда землетрясения тесно связана с упругими деформациями, упругая потенциальная энергия землетрясений должна быть связана с размерами блоков. Крупные блоки могут накапливать и большую упругую энергию. Разрушительные последствия землетрясений определяются особенностями распространения упругих продольных

поперечных волн в неоднородной среде блоков. Разный характер обводненности блокоразделов деформирует поле скоростей распространения сейсмических волн. Активно воздымающиеся блоки имеют, как правило, большую относительную высоту, и породы, находящиеся в основании их склонов, более напряжены. Это может быть причиной усиления сейсмических эффектов, которые необходимо учитывать при инженерно-геоморфологической оценке местности. Поскольку блоковая нарезка практически не меняется в периоды от одного катастрофического землетрясения к другому, она может быть проведена заранее. И ее следует положить в основу инженерной оценки территории.

Анализ современных вулканических явлений геоморфологическими методами с целью их прогнозирования должен опираться на стационарные или полустационарные наблюдения. Известно, что перед началом вулканической активности растет сейсмическая активность, а также изменяются скорости, а иногда и направленность тектонических движений. Эффективность геоморфологической оценки должна возрасти, если она проводится на заранее составленной блоковой основе.

В состав специальных геоморфологических исследований для инженерной оценки местности в районах современной вулканической активности должны быть проведены и морфометрические исследования. С их помощью следует установить возможные пути движения лавы при повторных вулканических извержениях, а также каналы схода лавово-каменных раскаленных туч-потоков (лахаров), которые сопровождают вулканические извержения лав кислого, а иногда и среднего состава. Одним из объектов геоморфологического анализа территории современного вулканизма должны стать поля накопления пирокластического материала, которые определяются направлением наиболее часто повторяющихся ветров, расположением центров возможного извержения вулканов, а также уже существующего вулканического рельефа.

Специальное инженерно-геоморфологическое изучение эндогенных процессов рельефообразования — новое направление в инженерной геоморфологии. Однако широко разрабатываемые в современной геоморфологии структурно-геоморфологические и морфотектонические концепции найдут свое применение при инженерных оценках территории и, в частности, в оценках опасности геодинамических обстановок, созданных эндогенными процессами.

5.4. РЕЛЬЕФ И ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

5.4.1. Рельеф и склоновые процессы

Особое место в инженерной геоморфологии отводится изучению склонов и склоновых процессов, так как на Земле практически отсутствуют абсолютно горизонтальные поверхности, а

рельеф земной поверхности состоит из сочетания склонов различной крутизны и экспозиции. На долю склонов приходится 80—90% всей поверхности суши. В геоморфологии склонам следует называть наклонные участки земной поверхности с углом наклона более $1-2^\circ$, на которых рыхлый материал образуется в результате процессов выветривания, а смещается в виде грунтового потока обвалыванием, перекатыванием, сползанием или смывом. Причины и механизмы перемещения склонового чехла могут быть различными и зависят от склоновых процессов, которые в свою очередь регулируются тектоникой, геологическим строением, климатом, водным режимом местности и другими факторами. Склоновые процессы и их сочетания определяют характер перемещения и накопления продуктов выветривания, морфологию и эволюцию склонов, строение склоновых отложений. Склоновая денудация является одним из основных экзогенных факторов формирования рельефа и основным поставщиком материала, из которого впоследствии образуются различные генетические типы отложений.

Изучение склонов и склоновых процессов имеет не только научное, но и огромное практическое значение, поскольку развитие некоторых процессов на склонах при определенном сочетании природных условий может принять катастрофический характер. По имеющимся оценкам, такие страны, как США, Япония, Италия, Индия, имеют ежегодные потери более 1 млрд дол. каждая только лишь от оползней. Изыскания под строительство различных инженерных объектов на склонах, их интенсивная эксплуатация и оценка устойчивости уже построенных, борьба с эрозией почв, поиски месторождений полезных ископаемых — вот далеко не полный перечень практического использования знаний о развитии склонов.

Склоны характеризуются крутизной, длиной, формой профиля. Они также различаются по происхождению, по особенностям движения материала и строению склонового чехла.

По крутизне склоны следует разделить на весьма крутые, свыше угла естественного откоса $^1 >45^\circ$; очень крутые — $45-29$, равные углу естественного откоса; крутые — $29-15$; средние, наиболее часто встречающиеся — $15-10$; пологие — $10-5$; весьма пологие — $5-2^\circ$. Предложенное деление склонов по крутизне дает возможность судить о характере и интенсивности процессов, о возможных путях использования склонов в инженерно-хозяйственной деятельности.

По длине склоны подразделяются на длинные ($l > 500$ м), склоны средней длины ($l = 500-50$ м), короткие склоны ($l < 50$ м). По форме профиля выделяют выгнутые, прямые, вогнутые и ступенчатые.

¹ Величина угла естественного откоса зависит от размеров и формы обломков: для песка этот угол равен $29-32^\circ$, для мелкого щебня — $33-37^\circ$, а для крупных угловатых обломков он может достигать 45° .

По происхождению выделяют склоны эндогенные и экзогенные. Эндогенные склоны возникают в результате тектонических движений (складчатых и разрывных дислокаций) земной коры, вулканизма и землетрясений. Экзогенные склоны формируются в результате воздействия на земную поверхность текучих вод, озер, морей, ледников, ветра, подземных вод, мерзлотных процессов. К этой же группе можно отнести и склоны, образованные в результате инженерной деятельности человека (откосы насыпей, выемок, стенки карьеров и т. п.).

Совокупность процессов, формирующих первичные склоны, принято называть склонообразующими. Но эти склоны не остаются неизменными, а преобразуются под воздействием целого ряда процессов, которые можно назвать собственно склоновыми. В природе первичные наклонные поверхности с самого начала их образования подвергаются воздействию тех или иных склоновых процессов, поэтому морфологический облик подавляющего большинства склонов является результатом совместного воздействия склонообразующих и склоновых процессов.

Особенности склоновых процессов определяются составом и мощностью перемещающегося чехла рыхлых отложений и их большим разнообразием. В настоящее время принято выделять (Леонтьев, Рычагов, 1988) следующие основные типы склонов: собственно гравитационные; блоковомых движений горных масс; массового смещения чехла обломочного материала; делювиальные (склоны плоскостного смыва).

Каждый из выделенных типов склонов может быть разделен на денудационную и аккумулятивную части, сочленяющиеся полосой транзита, которая в ходе развития склонов может смещаться вверх или вниз. Эти части склона отличаются прежде всего мощностью чехла обломков. В свою очередь для разных типов склонов строение чехла склоновых отложений обладает вполне определенными характеристиками и зависит от крутизны, длины склонов и ряда других условий.

Инженерная оценка склонов предполагает их разделение по возможным результатам прямого или косвенного воздействия склоновых процессов на инженерные объекты как линейного, так и площадного (ареального) вида. В этой связи все склоны можно разделить на три основные группы:

1) безопасные, или благоприятные, склоны, на которых инженерные сооружения различного типа практически не испытывают воздействия склоновых процессов. Это, как правило, пологие склоны с медленным массовым смещением чехла обломочного материала (дефлюкция и др.),

2) потенциально опасные склоны, на которых строительство и эксплуатация инженерных сооружений возможны и предполагают их защиту от негативного воздействия склоновых процессов. В эту группу входят оползневые, эрозионно-оползневые склоны, склоны оползней — сплывов, осыпные, склоны отседания; солифлюкционные. На них необходимо проводить обследо-

садки, сооружать водоотводы, проводить инженерные крепительные работы и т. п.;

3) опасные склоны, инженерное освоение которых может привести к катастрофическим последствиям. Это прежде всего гравитационные склоны (обвальные, осыпные, лавинные), крутизна которых превышает 35—40°. На них могут иметь место и селевые процессы. Такие склоны практически непригодны для строительства, а для их закрепления необходим комплекс сложных и дорогостоящих мероприятий.

С позиций инженерной геоморфологии особый интерес представляет изучение склонов второй и третьей групп, для которых в развитии склоновых процессов характерна определенная стадийность. Наиболее продолжительной является первая стадия — подготовка, в течение которой происходит уменьшение устойчивости грунтовой массы на склоне. На этой стадии каких-либо внешних признаков происходящих процессов не наблюдается. Во вторую стадию происходят нарушения равновесия склона и смещение пород. Для обвальных склонов это протекает практически мгновенно, в случае оползневых процессов смещение может быть разовым или многократным, быстрым и медленным, непрерывным и периодическим, кратковременным и долгосрочным, с неизменным или с увеличивающимся во времени объемом оползневых пород. В третью стадию наблюдаются стабилизация и восстановление устойчивости пород на склоне, когда склон вновь стремится к состоянию динамического равновесия.

Наиболее полно вопросы формирования склонов и развития склоновых процессов рассмотрены в работах Т. Н. Каплиной (1965), С. С. Воскресенского (1971), Ю. Г. Симонова (1972) и ряда других авторов.

Для инженерно-геоморфологических целей большой интерес представляет проблема устойчивости территории. Под устойчивостью обычно понимают способность горных пород удерживать сооружения. Работами инженеров-геологов и геоморфологов установлено, что в однородной геологической обстановке, но в разных физико-географических и геоморфологических условиях физико-химические свойства и несущая способность одних и тех же горных пород различны. Вместе с тем горные породы разного состава очень неустойчивы в тех или иных геоморфологических условиях и прежде всего на склонах. Таким образом, устойчивость территории можно оценивать через устойчивость рельефа, т. е. использовать геоморфологические методы.

Наиболее актуальными стали исследования устойчивости склонов, на которые опираются инженерные сооружения, такие, как плотины, мосты, здания, дороги и др. Устойчивость склона и степень его деформации зависят от интенсивности процессов, воздействующих как на поверхность склона, так и на массив пород, слагающих склон.

Склоны собственно гравитационные отличаются резким и быстрым движением глыбового и щебенистого материала. Для

подсчета скорости осыпания со скалистых склонов предлагается следующая формула (Звоикова, 1970):

$$V = \frac{C_p}{\gamma \cdot F \cdot \Delta t} = \frac{r}{r/\text{см}^3 \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{см}}{\text{с}},$$

где C_p — вес материала, задержанного дамбой за данный период времени Δt ; γ — объемный вес породы; F — площадь, с поверхности которой осыпался материал.

Неровности рельефа склона часто усиливают воздействие обвальных и осыпных склоновых процессов на инженерные сооружения. Прежде всего это структурные ступени, которые служат своеобразным трамплином для глыбово-каменных масс и одиночных обломков. Но в зависимости от их размеров и размещения они могут и замедлять движение рыхлого материала на тех же осыпных склонах.

Наибольшее распространение среди склонов блоковых движений занимают оползневые склоны. По возрасту и фазам развития оползни делят на древние (открытые и погребенные), современные (старые и приостановившиеся) и действующие (новые и возобновившиеся). Свежие активные оползни характеризуют неустойчивость склона. Для такого склона характерно наличие рвов отседания, бровки срыва откоса обрушения, ступенчато-глыбовой поверхности тела оползня, валов выпирания и наплыва у основания, других деформаций.

Склоны с древним проявлением оползневых процессов можно считать относительно более устойчивыми в их естественном состоянии. Наиболее характерными морфологическими признаками таких склонов являются углаженные оползневые террасы и бугры, крупные западины, овраги и промоины.

Оползневые склоны представляют наибольшую опасность для строительства арочных мостов, плотин, различных гидротехнических и других сооружений, оказывающих боковое давление на склоны долин. Возможность строительства определяется и глубиной захвата грунта оползневыми процессами. Тогда делается заглубление фундамента инженерного сооружения.

Особую опасность представляют оползни, которые могут сойти со склонов, опирающихся прежде всего на днища порных водохранилищ. Так, в Итальянских Альпах в 1963 г. сошел оползень объемом 240 млн м³ и вывел из строя ГЭС, разрушив одну из высочайших арочных плотин в мире. Возникшая 100-метровая волна, перекрестившая плотину, разрушила город Лонгарон и опустошила долину р. Пьяве (Заруба, Мюнцел, 1979).

Солифлюкционные склоны относятся к наиболее динамичным в совокупности склонам, характеризующимся массовым смещением чехла рыхлого материала. Они формируются в процессе медленного (или быстрого) таяния грунта, сползания дерновых блоков. Эти процессы характерны в полярных, высокогорных и гумидных областях лишь для поверхностей толщи

преимущественно глинистого состава грунтов и оказывают прямое влияние на сооружения с неглубоким фундаментом.

Современное состояние склона, характер и интенсивность формирующих его процессов позволяют судить о степени его устойчивости.

Устойчивые склоны характеризуются наличием равновесного профиля, отсутствием оползней, оврагов, обвалов и осыпей. Для них характерна стабильность положения склонового базиса эрозии, т. е. подошвы склона. Такие склоны пригодны для строительства различных инженерных объектов. Их устойчивость определяется не только природными процессами, но и все возрастающей хозяйственной деятельностью человека, которая, как правило, снижает устойчивость. При изучении устойчивости склонов необходимо обращать внимание на те природные и антропогенные факторы и связи между ними, которые усиливают или замедляют склоновые процессы. Так, для повышения устойчивости склонов можно провести искусственное изменение их морфологии — частных уклонов, высоты, длины, формы, выполнить работы по пригрузке его основания. Этим видом работ бывает достаточно для стабилизации устойчивого состояния склона и последующего его использования для инженерных целей (рис. 13). Таким образом, можно говорить о том, что мы приходим к решению проблемы управления склоновыми процессами с целью создания склонов с заданными свойствами.

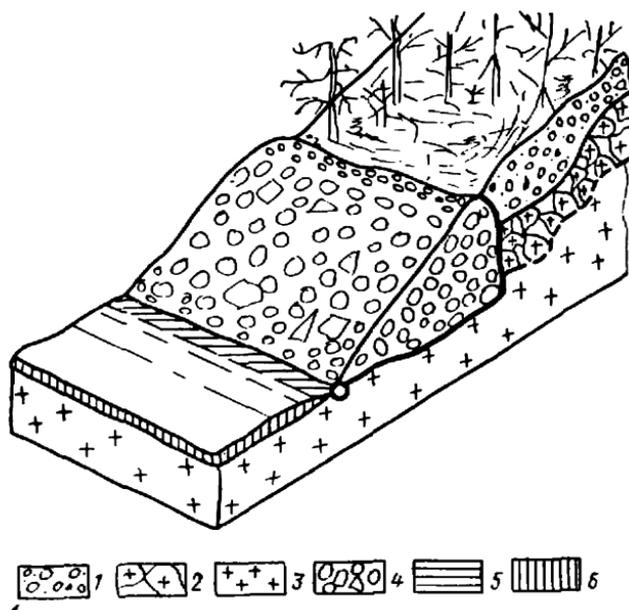


Рис. 13. Каменный контрфорс, построенный для укрепления неустойчивого склона: 1 — склоновый чехол; 2 — разборная скала; 3 — коренные породы; 4 — контрфорс; 5 — дренаж; 6 — полотно дороги

5.4.2. Рельеф и флювиальные процессы

Все многообразие процессов, связанных с взаимодействием текущей воды и подстилающих горных пород, представляет собой в совокупности единый эрозивно-аккумулятивный процесс, включающий три главных звена водных потоков: 1) безусловные потоки, стекающие со склонов, производящие плоскостную эрозию и непосредственную аккумуляцию, создающие основной тип денудации суши; 2) временные русловые потоки, осуществляющие линейную (овражную) эрозию, развитие которой представляет собой самовозбуждающийся процесс и сосредоточенную аккумуляцию в виде конусов выноса; 3) постоянные русловые потоки (реки), образующие в ходе геологической истории речные долины и осуществляющие постоянные переформирования создаваемых ими форм руслового рельефа.

Для инженерно-геоморфологических исследований на данном этапе их развития и использования наибольший интерес представляют те процессы и явления, которые осуществляются постоянными русловыми потоками движущейся воды и временными русловыми потоками.

Рассмотрим некоторые общие закономерности работы водотоков. Они осуществляют эрозию, перенос материала, его аккумуляцию и создают выработанные (эрозийные) и аккумулятивные формы рельефа. Совокупные сочетания водотоков, эрозийных и аккумулятивных форм рельефа, создавая определенную иерархию, формируют различные по размерам речные бассейны. В их пределах эрозийная работа каждого водотока осуществляется за счет живой силы потока, коррозии, механического воздействия влекомыми обломками и химического действия на породы, слагающие дно и берега рек.

В эрозийной работе водотоков различают глубинную, или донную, эрозию, осуществляющую углубление речной долины, и боковую эрозию, способствующую ее расширению. Признаки обоих видов эрозии можно обнаружить практически во всех водотоках различной протяженности. Вместе с тем интенсивность их проявления и соотношения меняется в зависимости от уклона русла, природных условий, геолого-тектонического строения территории, стадии развития водотока и его местоположения в пределах всего речного бассейна.

Преобладание того или иного вида эрозии проявляется прежде всего в морфологии долин водных потоков. Там, где господствует глубинная эрозия, наблюдаются узкие, глубокие и относительно спрямленные участки долины. Широкие плоскodonные участки долин с извилистыми руслами водотоков свидетельствуют о преобладании боковой эрозии.

Соотношение глубинной и боковой эрозии в пределах сети водотоков водосборного бассейна зависит также от положения базиса эрозии — уровня водного бассейна (моря или озера), куда впадает главная река. Если базис эрозии понижается, то

начинает активно проявляться глубинная эрозия, перемещается по долине репрессивно снизу вверх по течению. При повышении базиса эрозии начинают активно проявляться боковая эрозия и аккумуляция.

Характерной особенностью эрозионной работы водотоков является ее избирательный характер. При выработке русла вода выбирает прежде всего наиболее податливые для врезания участки, где отмечаются выходы более легкого размываемых пород или зоны дробления пород, тектонические разломы, осевые зоны складов и т. п.

В результате эрозии каждый водоток формирует свой продольный профиль. Различают невыработанный продольный профиль потока, характеризующийся наличием водопадов, порогов или быстрин, и выработанный, или предельный, профиль равновесия, который может быть достигнут теоретически каждым водотоком, но фактические природные условия делают недостижимым такое состояние.

Обломочный материал, полученный в результате эрозионной работы водотоков, транспортируется различными способами вниз по течению, измельчается, окатывается и сортируется. Аллювиальные отложения формируют характерный генетический тип континентальных отложений.

В процессе своей деятельности постоянные водотоки вырабатывают линейные отрицательные формы рельефа — речные долины, являющиеся главной составной частью речного бассейна. Выделяют основные элементы речной долины: русло, пойму, террасы и склоны. Каждый из этих элементов имеет характерные особенности строения, знание которых необходимо при проведении инженерно-геоморфологических изысканий.

Даже краткое рассмотрение общих закономерностей работы водных потоков свидетельствует об исключительном многообразии проявлений флювиальных процессов, что, безусловно, находит отражение в инженерной деятельности человека. В долинах вдоль рек исторически сконцентрирована значительная часть населения, поэтому речные долины стали и основными объектами современной инженерной деятельности. В большинстве случаев проектирование инженерных сооружений (за исключением объектов водного транспорта и гидроэнергетического строительства) осуществляют без должного учета развития русловых процессов, что впоследствии приводит к огромным материальным затратам. Только прямой ущерб народному хозяйству от неблагоприятного влияния русловых процессов составил в Х пятилетке около 15 млрд. рублей.

Хозяйственное использование рек приводит часто к существенным изменениям их руслового режима и даже к возникновению качественно новых русел. Поэтому строительству на берегах и в руслах рек, проектированию работ по регулированию русел должны предшествовать прогнозы русловых деформаций, основанные на знании условий и закономерностей формирования

речных русел как при естественном их развитии, так и при антропогенном воздействии.

Для строительства в речных долинах наиболее характерны гидротехнические сооружения, функционирование которых непосредственно связано с водным потоком. Это плотины, здания гидроэлектростанций, каналы; чаши водохранилищ. В зависимости от инженерно-геоморфологических условий технологическая их компоновка может быть различной.

Знание механизмов проявления флювиальных процессов в различных типах речных долин способствует более рациональному размещению гидротехнических сооружений как на больших, так и на малых реках, выбору наиболее оптимальных участков для дноуглубительных работ и по прокладке фарватера для водного транспорта, размещению населенных пунктов, водозаборов для бытовых, промышленных нужд и орошения. Речной аллювий — песок, гравий, галька — ценный строительный материал, а сами речные долины — это часто вместилище россыпных месторождений золота, олова, платины, алмазов и других ценных минералов.

Флювиальные процессы относятся к наиболее динамичным и требуют максимального учета и изучения при решении различных инженерных народнохозяйственных задач.

5.5. РЕЛЬЕФ И КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Для инженерной деятельности человека особый интерес представляют катастрофические процессы эндогенного и экзогенного происхождения. В настоящем разделе мы рассмотрим лишь наиболее важные из них, которые находят отражение в рельефе или проявляют свою интенсивность в зависимости от особенностей его строения.

К катастрофическим процессам следует прежде всего отнести землетрясения, извержения вулканов, цунами, наводнения, лавины и сели, а также оползни, оседания грунтов и др.

Землетрясения — это «подземные удары и колебания поверхности Земли, вызванные главным образом тектоническими процессами» (Географ. энциклоп. словарь. 1988. С. 102). Землетрясения происходят главным образом в результате пульсационно-колебательного развития литосферы — сжатия ее в одних регионах и расширения в других. При этом наблюдаются тектонические разрывы, смещения и поднятия. Энергия землетрясений оценивается по шкалам или энергетическим классам, поверхностный эффект — в баллах шкалы интенсивности (по 12-балльной шкале). Принято различать магнитуду и интенсивность землетрясений. Магнитуда определяется амплитудой сейсмических волн и измеряется по 12-балльной шкале Рихтера. Интенсивность оценивается по реакции людей и состоянию сооружений в пострадавшей местности и определяется по наиболее распространенной 12-балльной шкале Меркалли.

По имеющимся подсчетам за последние 4 тыс. лет землетрясения унесли более 13 млн жизней, миллиардами исчисляются экономические потери, которые связаны с пожарами, разрушением и повреждением материальных ценностей (зданий, инженерных сооружений, дорог, линий связи и др.).

В СССР наиболее крупные катастрофические землетрясения отмечались в 1948 и 1968 гг. (ашхабадские), в 1966 (ташкентское), в 1970 (дагестанское) и в 1988 г. (армянское). Землетрясение в Армении унесло более 25 тыс. жизней, полностью разрушило многие населенные пункты.

Причинами землетрясений могут быть также взрывные работы, ядерные испытания, создание крупных гидротехнических сооружений и водохранилищ, разгрузки напряжений в земной коре в результате интенсивных подземных выработок. Так, например, материалы геодезического и геофизического измерений по таким водохранилищам мира, как Кариба (объем воды 150 км^3) в Африке или Гувер ($38,8 \text{ км}^3$) в США и другие, показывают, что после заполнения их водой происходят землетрясения, крупные оседания и прогибания земной коры. Скорость прогибания под водохранилищами часто достигает 1—2 см в год, а магнитуа землетрясений может достигать 4—6 баллов. При этом возникают трещины на поверхности, повреждаются плотины, имеются разрушения и даже человеческие жертвы (Лукашов, 1987).

В настоящее время на земном шаре выделены зоны землетрясений разной активности. К зонам сильных землетрясений относят территории Тихоокеанского и Средиземноморского поясов. В нашей стране более 20% территории подвержено землетрясениям.

Катастрофические землетрясения (9 баллов и более) охватывают районы Камчатки, Курильских островов, Памира, Забайкалья, Закавказья и ряда других горных районов. В таких районах инженерное строительство, как правило, не ведется. Сильные (от 7 до 9 баллов) землетрясения имеют место на территории, простирающейся широкой полосой от Камчатки до Карпат, включая Сахалин, Прибайкалье, Саяны, Крым, Молдавию и др. Здесь должно проводиться только сейсмостойкое строительство. Большая часть территории России относится к сейсмичной зоне, в которой крайне редко бывают землетрясения небольшой силы. Так, в 1977 г. в г. Москве были зарегистрированы толчки силой в 4 балла, хотя эпицентр самого землетрясения находился в Карпатах.

Несмотря на большую работу, проведенную учеными по предсказанию сейсмической опасности, прогнозирование землетрясений представляет собой очень сложную проблему. Для ее решения строят специальные карты, математические модели, организуют с помощью сейсмических приборов систему регулярных наблюдений, составляют описание прошедших землетрясений на основе изучения комплекса факторов, включая и пове-

дение живых организмов, анализируют их географическое распространение. Важным элементом в комплексе этих исследований является морфоструктурный анализ, направленный на изучение блокового строения земной коры и выделение наиболее сейсмоактивных участков территорий.

Вулканизм представляет собой совокупность процессов и явлений, связанных с движением магмы в верхней мантии, земной коре и на поверхности Земли. В результате извержения вулканов образуются вулканические горы, вулканические лавовые плато и равнины, кратерные и запрудные озера, грязевые потоки, вулканические туфы, шлаки, брекчии, бомбы, пепел, в атмосферу выбрасываются вулканическая пыль и газы.

Последствия деятельности вулканов часто бывают катастрофичны. Так, в ноябре 1985 г. свыше 200 тыс. человек пострадало от извержения вулкана Руис в Колумбии, погибли и пропали без вести 23 тыс. человек, около 5 тыс. получили ранения, разрушено более 4500 домов. Излившаяся лава вызвала стремительное таяние ледников, в результате чего образовался селевой поток, который уничтожил городок Армеро с более чем 20-тысячным населением. Более 2/3 жителей оказались погребенными под толщей селя и обломками зданий.

В настоящее время систематически изучаются современные вулканические процессы на Камчатке, в Японии, Южной Европе, Азии, Южной Америке и других регионах. На Земле обнаружено свыше 800 действующих вулканов, которые в год извергают до 3—6 млрд т материалов в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Вулканизм играет важнейшую роль в образовании и формировании географической оболочки. Наиболее ярко его деятельность проявляется в изменении рельефа земной поверхности. Изучение вулканического рельефа наряду с другими подходами позволяет более успешно решать проблему прогнозирования активности действующих и потухших вулканов. Современные прогнозные работы основаны на комплексе методов, к которым относятся: геодезические измерения на вулканах с целью точной повторной топографической съемки созданных форм рельефа; геофизическое изучение взаимосвязи вулканической и сейсмической активности; геотермические исследования, основанные на изучении температурных изменений в гидротермах, фумаролах, подземных водах, вулканических озерах.

Нередко вблизи вулканов располагаются населенные пункты и различные инженерные объекты, ведется активная хозяйственная деятельность. Все это предполагает разработку мер защиты от вулканических извержений. В настоящее время применяются охлаждение наползающей на населенные пункты лавы сильными струями воды, отклонение движения лавовых потоков посредством сооружения защитных барьеров, систем тоннелей и даже бомбардировок. Создаются специальные карты районирования по размещению населенных пунктов в менее опасных

вулканических районах, расширяется сеть постоянных наблюдений за вулканами. В конечном итоге эти действия направлены на предотвращение человеческих жертв и сокращение экономических убытков.

Цунами — это приливные волны большой высоты и разрушительной силы, возникающие в зонах землетрясений и вулканической активности океанического дна. Скорость продвижения такой волны может колебаться от 50 до 1000 км/ч, высота в области возникновения — от 0,1 до 5,0 м, а у побережья — от 10 до 50 м и даже более. Цунами часто вызывают разрушения на побережье, в ряде случаев катастрофические, приводят к смыслу пляжей, образованию мутьевых потоков и интенсивному перемещению отложений береговой зоны, включая и грубообломочные породы, разрушают населенные пункты, сооружения.

Для инженерно-хозяйственной деятельности необходимо знать границы воздействия цунами в береговой зоне и учитывать их при освоении новых участков побережий. Определение этих границ может быть установлено в том числе геоморфологическими методами.

Защита от цунами заключается главным образом в своевременном прогнозировании их возникновения, выводе судов из зоны активного воздействия, эвакуации жителей из зоны разрушения. Предупреждению цунами способствует создание автоматизированной системы, основанной на сети сейсмических станций и современных каналах связи, включая и спутниковую.

Наводнение — это значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере или море. Они вызываются обильным выпадением ливневых дождей, таянием снега, льда, ураганами и штормами, которые способствуют разрушению насыпных сооружений, плотин, дамб. Наводнения могут быть речными (пойменными), нагонными (на побережьях морей), плоскостными (затопление обширных территорий водосбора) и др. Крупные катастрофические наводнения сопровождаются быстрым и высоким поднятием уровня воды, резким увеличением скорости потоков, их разрушительной силой. Разрушительные наводнения происходят практически ежегодно в различных регионах Земли. В России они наиболее часто имеют место на юге Дальнего Востока. Материальный ущерб связан с гибелью людей, затоплением больших территорий, как правило, сельскохозяйственно освоенных, размывом речных берегов, их обвалами и обрушением, образованием новых русел, грязевыми потоками и аккумуляцией наносов, разрушением водохранилищ, железных и шоссейных дорог и других инженерных объектов. Важное практическое значение в борьбе с наводнениями имеют данные о речном стоке, его колебаниях, максимальных расходах, ритмичности наводнений, размываемости грунтов, почвенном и растительном покрове, контрастности рельефа в пределах водосборного бассейна.

Интенсивность проявления наводнения зависит не только от

особенностей климата, гидрологического режима, свойств подстилающей поверхности, но и от структуры речного бассейна. Под структурой речного бассейна принято понимать набор определенным образом упорядоченных элементов гидрографической сети и склонов, на них опирающихся. При этом можно выделить бассейны различного порядка и сложности: от элементарных до максимально крупных, сложных по своему внутреннему устройству, дренирующих огромные участки суши. Простые бассейны гораздо быстрее реагируют на изменение внешних воздействий (например, на выпадение ливневых осадков) по отношению к более сложным бассейнам. Это находит свое отражение и в характере наводнений, период нарастания и время проявления которых при соответствующих экстремальных климатических условиях для простых бассейнов меньше, чем для сложных. На параметры наводнения влияют также площадь водосборного бассейна, его залесенность, длины и уклоны водотоков, крутизна склонов, степень нарастания порядков бассейна, часто зависящая от его типа (перистый, древовидный и др.), а также структурное положение каждого конкретно исследуемого речного бассейна в пределах всего водосбора.

Наиболее эффективные способы борьбы с наводнениями — зарегулированность стока рек, а также строительство защитных плотин и дамб. Так, в Голландии протяженность плотин и дамб составляет более 1800 миль. Без этой защиты две трети ее территории каждый день оказывались бы затопленными приливом. Для защиты Санкт-Петербурга от наводнений в Финском заливе сооружена дамба. Особенность этого реализованного проекта заключается в том, что он требует качественной очистки сточных вод самого города и нормального функционирования водопропускных сооружений в самой плотине, что в проекте плотины не было предусмотрено в должной мере. Строительство и эксплуатация подобных инженерных объектов требуют не только знания динамики развития береговой зоны, но и точной оценки возможных экологических последствий.

Сели — грязевые или грязекаменные потоки, внезапно возникающие в руслах горных рек и характеризующиеся резким кратковременным (1—3 ч) подъемом уровня воды в реках, волнообразным движением и отсутствием строгой периодичности. Сель может возникнуть при выпадении обильных ливней, интенсивном таянии снега и льда, реже вследствие землетрясений и извержений вулканов, прорывов перемычек горных озер, а также в результате хозяйственной деятельности человека (взрывные работы и др.). Предпосылками образования селей являются: чехол склоновых отложений, значительные уклоны горных склонов, повышенная увлажненность грунтов. По составу различают грязекаменные, водокаменные, грязевые и вододресвяные сели, в которых содержание твердого материала колеблется от 10—15 до 75%. Отдельные обломки, переносимые селями, весят более 100—200 т. Скорость движения селей достигает 10 м/с, а

объемы выбросов достигают сотен тысяч, а иногда и миллионов кубических метров. Обладая большой массой и скоростью передвижения, сели часто приносят разрушения, приобретая в наиболее катастрофических случаях характер стихийного бедствия. Так, в 1921 г. катастрофический селевой поток разрушил Алматы, при этом погибло около 500 человек (Оползни и сели, 1984). В настоящее время этот город надежно защищен противоселевой плотной и комплексом специальных инженерных сооружений. Основные меры борьбы с селями связаны с укреплением почвенного и растительного покрова на горных склонах, с профилактическим спуском угрожающих прорывом горных водоемов, со строительством плотин и различных селезащитных сооружений.

Для инженерно-хозяйственной деятельности необходимо знать границы проявления селей и учитывать их при освоении горных районов. Для этих целей проводится специальное картографирование селевых очагов и прежде всего на основе геоморфологических признаков.

Лавины — массы снега, низвергающиеся по крутым горным склонам. Особенно часто лавины сходят в тех случаях, когда снежные массы образуют нависающие над нижележащим склоном валы или снежные карнизы. Лавины возникают при нарушениях устойчивости снега на склоне под влиянием мощных снегопадов, интенсивного снеготаяния, дождей, перекристаллизации снежной толщи с образованием слабо связанного горизонта глубинной изморози. В зависимости от характера движения снега по склонам различают: осывы — снежные оползни, соскальзывающие по всей поверхности склона; лотковые лавины, движущиеся по ложбинам, логам и эрозионным бороздам; прыгающие лавины, которые свободно падают, сваливаясь с уступов. При сходе лавин из сухого снега возникает распространяющаяся вперед разрушительная воздушная волна. Огромной разрушительной силой обладают и сами лавины, так как их объем может достигать 2 млн м³, а сила удара — 60—100 т на 1 м². Обычно лавины, хотя и с разной степенью постоянства, приурочены год от года к одним и тем же местам — лавинным очагам различных размеров и конфигурации. Для выявления лавинных очагов есть геоморфологические признаки, по которым определяются границы лавинной опасности. Для борьбы с лавинами разработаны и создаются системы защиты, которые предусматривают размещение снегозащитных щитов, запрещение вырубki лесов и проведение лесопосадок на лавноопасных склонах, обстрел опасных склонов из артиллерийских орудий, возведение противолавинных валов и рвов. Борьба с лавинами очень сложна и требует больших материальных затрат.

Помимо охарактеризованных выше катастрофических процессов находят свое проявление в рельефе и такие, как обваливание, оползание, оплывание, просадки, абразия берегов и т. д. Все эти процессы приводят к перемещению вещества, часто в

крупных масштабах, и имеют первостепенное значение в инженерной геоморфологии для определения генезиса причин и факторов, свойств самого рельефа с целью принятия необходимых мер защиты от катастрофических разрушений. Очевидно, что инженерные действия человека должны быть направлены на ослабление и предотвращение (где это возможно) процессов, вызывающих отрицательное воздействие на устойчивость инженерных сооружений, подвергающих опасности жизнь людей.

5.6. РЕЛЬЕФ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

При инженерно-геоморфологической оценке геодинамической ситуации на той или иной территории следует исходить из представлений о том, что рельефообразующие процессы в природе действуют не независимо друг от друга, а образуют взаимосвязанные системы процессов рельефообразования. Наличие прямых и обратных связей между этими явлениями служит основой того, что «предоставленная сама себе» природа стремится к определенному уровню равновесия: когда действие одних факторов уравнивается действием других. Однако эта естественная уравновешенность природных явлений не может быть основным инженерно-геоморфологическим критерием устойчивости территории, так как достигается на различных уровнях энергии рельефообразования.

Выбирая ту или иную территорию для строительства на ней некоторого комплекса инженерных сооружений, будущий их пользователь заинтересован в том, чтобы они служили длительное время, не подвергаясь воздействию разрушительных природных процессов. Имеется в виду при этом инженерная устойчивость сооружений, обеспечивающая безопасность их эксплуатации. Геоморфологическая устойчивость территории — это свойство территории не изменять рельеф в течение достаточно продолжительного периода времени, не изменять и рельефообразующие процессы, на ней протекающие. В силу этого геодинамически благоприятной в инженерном смысле окажется лишь та геоморфологическая обстановка, в которой равновесие рельефообразующих процессов достигнуто на низком уровне энергии рельефообразования.

Наличие в природе строго определенных взаимосвязей обуславливает комплексную оценку всей системы рельефообразования на каждой из исследуемых территорий. Этот комплексный подход обычно реализуется в работах по геоморфологическому районированию. Теоретической основой таких оценок должен быть выбран системный подход. Следует иметь в виду, что системный анализ в геоморфологии делает первые шаги. Но с ним связывается будущее геоморфологии. Поэтому и в данном курсе полезно сделать некоторые замечания о необходимости использования системного подхода при инженерно-геоморфологичес-

кой оценке территории. Для этого следует дать несколько определений.

Под геоморфологической системой принято понимать любой четко ограниченный участок поверхности Земли, в пределах которого протекает более или менее однородный комплекс рельефообразующих процессов. Из этого определения следует, что главная проблема в выделении геоморфологических систем заключается в том, как понимать «однородность рельефообразующих процессов» и какой выбирать способ проведения пространственных границ этих однородностей.

Геоморфологические системы должны характеризоваться закономерным сочетанием элементов рельефа, связанных с ними рыхлых отложений и комплекса процессов, осуществляющих образование и преобразование рельефа. По существу, это динамические морфолитологические системы, и в силу этого у них есть не только латеральные границы, но и границы, отделяющие одни системы от других в разрезе. Геоморфологическая система трехмерна в отличие от рельефа, который двумерен и представляет собой неровную поверхность, размещенную в трехмерном пространстве. Геоморфологический анализ этих систем — это целевой анализ, направленный на раскрытие механизмов рельефообразования. Последнее очень важно для инженерной геоморфологии, так как знание механизмов течения тех или иных процессов позволяет правильно оценить характер их влияния на строительство и функционирование инженерных сооружений.

Геоморфологические системы бывают простыми и сложными. Примером относительно простой геоморфологической системы являются склон, вершинная поверхность, днище долины малого водотока и др. К более сложным системам можно отнести речной бассейн, состоящий из множества элементарных морфосистем. К сложным системам, естественно, будут относиться горные страны и равнины. Еще более сложной системой является материк. И наконец, вся поверхность нашей планеты представляет собой самую сложную геоморфологическую систему.

Для каждой системы важно определить ее внутреннее устройство (структурное) и внешние связи. Внутреннее устройство (структура) включает в себя набор некоторых элементов и наличие связей между ними, которые осуществляются с помощью потока вещества и энергии.

Например, морфолитосистема «склон» имеет следующее устройство. Материальными границами системы служат резкие перегибы ее внешней поверхности (бровки, ребра, шовные линии). В вертикальном разрезе границу следует проводить по внешней поверхности, разделяющей слагающие склон породы и нижние слои атмосферы. Нижняя граница отделяет подвижные слои горных пород (склоновые отложения) от неподвижных. Все границы морфолитосистемы, как латеральные, так и вертикальные, выполняют различные функции, главными из которых являются обмен веществом и энергией и функция пространственного огра-

ничения. В качестве примера границ ограничения отчуждения или разделения можно привести линии водоразделов, которые делят не только направленные противоположно водные потоки, но и соответствующие им потоки рыхлого материала, участвующего в рельефообразовании. В качестве границ с функцией «обмена» можно назвать шовную линию, через которую склоновый материал поступает на днище долин, т. е. в морфолитосистему типа «склон». Ее входом является нижняя граница склоновых отложений, через которую в результате процессов выветривания исходный материал коренных пород поступает в склоновый чехол. Внешняя поверхность склоновых отложений одновременно выполняет функции «входа» и «выхода», через которую в склоновый материал поступает вещество аэрозолей, атмосферных вод и растительного опада. Через нее же в систему попадают техногенные отходы. Но одновременно через нее же осуществляется и вынос вещества с помощью дефляции, а также био-генный поток вещества, направляемый ростом растений и прежде всего транспирацией влаги. Через верхнюю границу, как правило, осуществляется и техногенное изъятие вещества. Нижняя граница системы, если говорить строго, выполняет не только функции входа. Через нее идут нисходящие потоки вещества вместе со стоком грунтовых вод, т. е. они выполняют выходные функции.

Системный анализ предполагает тщательное исследование баланса вещества на всех границах системы.

Система не остается во времени постоянной: в ней изменяется набор образующих ее элементов и характер протекающих в ней процессов. Эти изменения происходят в результате как внешних воздействий на систему со стороны среды, так и внутренних ее преобразований. Так, например, во время выпадения атмосферных осадков на поверхности склонов появляется еще один структурный элемент системы — слой текучей воды (при малой интенсивности он может и не появиться). Этот слой начинает взаимодействовать с подстилающими склоновыми отложениями. Часть склонового материала в виде взвешенного и влекомого потока наносов устремляется вниз. Таким путем появляется не только новый элемент структуры, но и новый процесс — делювиальный смыв. Одновременно с этим часть воды проникнет по порам и микротрещинам в верхние слои склонового чехла. При этом может измениться состояние грунта — его консистенция. Из полутвердого, практически неподвижного состояния насыщенный водой грунт может перейти в пластичное движение или даже, при определенных обстоятельствах, тиксотропное течение. И возникнет еще один процесс. После прекращения выпадения атмосферных осадков морфосистема «склон» будет еще некоторое время находиться в геодинамически неустойчивом состоянии, после чего вернется в состояние покоя. У каждой геоморфологической системы есть свой собствен-

ный набор состояний, которые сменяют друг друга, нередко циклически повторяясь в течение суток, года или более длительных промежутков времени. При инженерно-геоморфологических исследованиях необходимо выделить полный набор состояний каждой изучаемой геоморфологической системы. Особенно важны экстремальные состояния, с которыми связаны и геоморфологическая неустойчивость, и наиболее опасные для сооружений процессы.

При системном подходе очень важно изучать внешние связи систем, т. е. связи между пространственно сопряженными морфосистемами. Очень важен парагенетический анализ их отношений, так как начавшийся в одном из звеньев комплекса морфосистем процесс может быть причиной нежелательных и непредвиденных последствий в сложной, а иногда и достаточно отдаленной системе.

Одним из важных аспектов изучения динамики морфосистем является выявление закономерностей во временной последовательности смен их состояний. Как правило, состояния закономерно следуют друг за другом. Так, в течение теплого периода года на склонах сменяют друг друга влажные и сухие периоды. Осенью появляются заморозки, и промерзание и оттаивание сменяют друг друга. А на них накладываются еще влажные и сухие периоды. Затем возникают процессы, связанные с образованием снежного покрова, его накоплением и деградацией. И наконец, весной снова сменяются процессы замерзания и оттаивания, но уже на другом погодном фоне. Каждое из состояний характеризуется своим характером структуры системы и типом ее функционирования. Знание законов смен функционирования систем во времени может быть положено в основу геоморфологического прогнозирования — очень важного звена в инженерно-геоморфологических оценках территории.

5.7. РЕЛЬЕФ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ

Инженерно-геоморфологическая оценка территории должна в конце исследования представлять собой заключение о возможности строительства тех или иных сооружений на определенных элементах рельефа территории. В заключении в качестве одного из разделов должны быть указания, с какими трудностями могут встретиться во время строительства и эксплуатации промышленных или жилых комплексов их пользователи. В числе трудностей должны быть перечислены все природные явления, которые могут периодически возникать на территории, угрожая повреждением или разрушением создаваемых жилых зданий, промышленных объектов, а также жизни работающих и проживающих в них людей. Естественно, что геоморфолог может фиксировать лишь те явления, которые связаны с рельефообразованием. Особое внимание при этом должно уделяться тем, которые будут вызваны вмешательством человека в естест-

венное течение природных процессов в ходе строительства и эксплуатации сооружений. У любого инженерно-геоморфологического заключения появляется как бы оттенок прогнозного документа. При этом прогноз может быть высказан в косвенном или прямом виде.

Косвенно прогноз содержится уже в самой оценке, в которой разрешается или запрещается само строительство. Разрешая его, геоморфолог как бы берет на себя ответственность за то, что в будущем сооружение не пострадает от различных процессов рельефообразования или надо будет предусмотреть те или иные средства защиты. Или, наконец, строить в таком-то месте не следует из-за того, что в будущем воздвигающиеся объекты окажутся в опасности из-за тех или иных природных явлений. Инженерно-геоморфологическое заключение в этом виде содержит в себе прогноз лишь в неявной форме. А сам прогноз может отсутствовать.

Прямое геоморфологическое прогнозирование на практике встречается редко, так как на предыдущем этапе развития нашей науки изучались преимущественно медленно протекающие процессы, прогнозирование последствий которых инженеров-геоморфологов не интересовало. Изучение истории развития рельефа и палеогеоморфологические реконструкции — типичные задачи геоморфологии — составления прогнозов не требовали, хотя сами реконструкции как логические операции близки прогнозированию. Но в отличие от прогноза, восстановление истории рельефа нацелено не в будущее, а в прошлое. Восстановить события той или иной эпохи — это значит по материальным остаткам — свидетелям прошлых событий — восстановить целое. При этом чем дальше в прошлое уходит от нас восстанавливаемая эпоха, тем меньше фактов находится в распоряжении исследователя, тем более неопределенной, расплывчатой кажется вся картина. Аналогичная ситуация может встречаться и в прогнозировании. Предвидя ближайшее будущее, мы как бы опираемся на большой фактический материал. При этом ученый имеет возможность сравнительно легко экстраполировать в будущее медленно протекающие процессы. Быстро протекающие явления, обладая большой изменчивостью, прогнозируются труднее. Особенно трудно составлять прогнозы для редких катастрофических явлений. Как правило, их можно представлять лишь в вероятностном виде.

В настоящее время принято считать, что для прогнозирования необходимы стационарные наблюдения за изучаемым явлением. С помощью стационарных наблюдений получают временные ряды. Например, так изучается изменение во времени скорости перемещения материала на склонах, отступление берегов водохранилищ, рост оврагов и многое другое. Прогноз на базе временных рядов является задачей экстраполяции временных рядов в будущее. Для уверенных прогнозов ряд должен быть достаточно длинным. Его достаточность оценивается ста-

тистически. Экстраполяция временных рядов имеет ограничения и для большинства природных процессов точность экстраполяции оказывается не очень высокой. Но самое трудное в работе инженера-геоморфолога — необходимость давать заключение о возможности строительства в сжатые сроки и в тех местах, где никаких стационарных геоморфологических работ ранее не проводилось, так как этого не требовалось. В этом случае у геоморфолога-исследователя оказывается чрезвычайно мало времени для постановки стационарных наблюдений. Два, три года и даже десять лет оказываются статистически недостаточными для получения временных рядов, необходимых для составления прогноза — временной экстраполяции текущих геоморфологических событий. Однако, как будет показано ниже, стационарные наблюдения весьма полезны для других целей. И при инженерно-геоморфологических исследованиях организация стационарных наблюдений весьма желательна.

Геоморфологический прогноз, как и любой прогноз, должен начинаться с выбора объекта прогнозирования. В геоморфологии им могут быть территория или отдельная ее часть (форма рельефа, элемент формы); какое-либо геоморфологическое явление или процесс; наконец, группа взаимосвязанных явлений. Каждый объект всегда характеризуется некоторым набором свойств. Часть из них устойчивы, другие обладают различной степенью изменчивости. Как правило, целью геоморфологического прогнозирования является установление на будущее одного или нескольких свойств прогнозируемых явлений. Ими могут быть: положение в пространстве границы той или иной формы рельефа (например, положение бровки отступающего абразионного уступа, вершины оврага, граница затопления и т. п.); скорость движения материала; объем разрушаемого или приносимого материала; частота прохождения подвижек; место и время возникновения того или иного явления; дальное действие возводимых сооружений и др.

При прогнозировании исследователь ограничен сроком, данным ему для составления прогноза, имеющимся в его распоряжении фактическим материалом, а также уровнем изученности данного явления наукой. В зависимости от этого выбираются и методы прогнозирования. Все методы прогнозирования следует разделить на две группы: методы качественного и количественного прогнозирования (Симонов, 1982). Каждая из этих групп делится на подгруппы. Методы качественного (интуитивного) прогнозирования включают в себя три подгруппы: 1) морфологического анализа; 2) пространственно-временных аналогий; 3) экспертных оценок. Методы количественного анализа могут быть объединены в две группы — статистических и аналитических методов. Каждый из них может быть разделен дальше на классы, виды и т. д.

Выбор того или иного метода диктуется наличием у прогнозиста необходимого материала. Естественно, что при проекти-

ровании прогнозно-геоморфологических работ исследователь должен выбрать тот метод, который может быть обеспечен наблюдениями за предоставленный исследователю срок. Научно-методической базой геоморфологического прогнозирования должен служить системный подход. Качественные и количественные методы связаны друг с другом, и количественному прогнозированию всегда должен предшествовать качественный анализ. Остановимся лишь на первой группе методов — методах качественного прогнозирования.

Качественное прогнозирование следует всегда начинать с методов морфологического членения, как принято в научной прогностике. При его реализации исследователь разделяет сложное явление на части и устанавливает взаимосвязи между ними. По существу, он раскрывает структуру явления и выясняет механизм функционирования. Именно эти процедуры и предлагают к изучению сложных явлений системный подход. Зная характер взаимосвязей частей целого (вот для этих целей окажутся необходимыми и стационарные исследования), можно сделать уже и прогноз. Хотя в этом варианте он обычно имеет условный вид.

Например, если в ходе изучения оползневой процесса установлено, что его активизация связана с повышением уровня грунтовых вод, то геоморфолог, давая заключение о возможностях строительства промышленного объекта на оползневом склоне, имеет право на геоморфологический прогноз условного характера: «Если это производство связано с большим водопотреблением, то при потерях воды в основании здания может произойти повышение уровня грунтовых вод; это должно вызвать активизацию оползневой процесса». Здесь нет количественной оценки — где, когда и насколько возрастет активность процесса. Но и в данном условном виде, построенном по принципу «если..., то», имеется практический смысл, так как из него следует необходимость определенного вида особой защиты здания (водоизоляция основания фундамента, дренаж и др.). Эти примеры нетрудно продолжить.

Если выполнен морфологический анализ, т. е. проведено морфологическое членение геоморфологического объекта, нетрудно перейти и к подбору пространственных или временных аналогов явлений. Например, необходимо построить водохранилище. Для этого полезно знать, какие последствия данного строительства следует ожидать в выбранном месте. Для составления прогноза в этом случае нужно найти территорию, близкую по характеру рельефа к изучаемой, на которой уже подобное строительство проведено. Если удачно выбрана территория-аналог, то возможно сделать и количественные оценки того, что может произойти в результате создания водохранилища и за 5, и за 10 лет, и на срок, в течение которого существует водохранилище-аналог. Выбор территорий-аналогов затруднен тем, что совершенно похожих двух территорий не бывает. Поэтому в прогнозировании

нии методом пространственных аналогов большое значение имеет метод морфологического членения.

Временные аналоги требуют уже палеогеоморфологических исследований, а их можно использовать далеко не во всех случаях. Палеогеоморфологические реконструкции в прогнозировании могут использоваться и самостоятельно. Существует большой ряд прогнозных задач, при решении которых проведение палеогеоморфологических исследований является обязательным. В частности, это необходимо, когда осуществляются большие проекты осушения, орошения территорий, вырубка лесов и др. При реализации этих проектов последствия могут иметь региональный или даже глобальный характер. Палеогеографические аналоги здесь позволяют выявить цепочки взаимосвязанных событий, в которых они прослеживались в палеозоогеографическом аналоге.

Методов экспертных оценок достаточно много, и они подробно разбираются в соответствующих руководствах. Здесь же можно заметить, что они могут содержать в себе как качественный, так и количественный материал оценки. Но главное их отличие от описанных выше методов качественного прогнозирования заключается в том, что с их помощью получается прогноз — мнение не одного исследователя (одной исследовательской группы), а нескольких. При этом не исключаются и альтернативные прогнозные суждения. Коллективное суждение весьма полезно прежде всего потому, что на его основании можно сказать, что большинство специалистов в данной области сходятся на некотором утверждении. А в другом случае такое единство мнений отсутствует. Метод экспертных оценок использует коллективный опыт науки, количественно оценивая степень единственности заключений, а также вскрывает некоторые психологические аспекты взаимодействия мнений отдельных ученых и индивидуальные особенности прогнозов.

Количественные методы здесь не описываются за недостатком места. Необходимо лишь подчеркнуть, что им должен предшествовать анализ объекта на качественном уровне. Количественный прогноз не может быть составлен без качественного анализа.

Заканчивая раздел учебного пособия, посвященный оценке динамики рельефа в инженерно-геоморфологических целях, хочется обратить внимание на два обстоятельства: 1) изучение рельефообразующих процессов при инженерно-геоморфологических исследованиях должно проводиться так, чтобы инженер-строитель мог получить оценку степени объективности суждений надежности полученных выводов; 2) исследуя современные процессы рельефообразования, необходимо исходить из того, что сам рельеф и его морфология несут в себе полезную информацию о процессе его образования, и в этом случае явно реализуется индикационно-геоморфологический анализ.

6. АНТРОПОГЕННЫЙ РЕЛЬЕФ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

6.1. РЕЛЬЕФ И ЛАНДШАФТ

Рельеф земной поверхности является свойством литосферы, которую в свою очередь можно рассматривать как базис географического ландшафта. Ландшафтная оболочка Земли обособилась в самостоятельное природное образование в результате сложных взаимопроникающих потоков вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях. Существенная роль в формировании этой оболочки принадлежит живым организмам, деятельность которых неузнаваемо изменила первичную атмосферу Земли, кругооборот воды и привела к созданию почв. Солнечная и правитационная энергии обеспечивают перемещение вещества по земной поверхности. Совокупность этих процессов обычно рассматривают как функционирование географической оболочки Земли — этой сложной системы. При этом обеспечивается относительное постоянство ее структуры, которая, изменяясь в пространстве и во времени, все же для каждой геосистемы остается достаточно устойчивой во времени. С локальным изменением структуры этой системы связано все разнообразие форм существования географических ландшафтов на поверхности Земли (малых и больших). Растительность и животный мир, приземный воздух, поверхностные и подземные воды, а также почвы — вот материализованный мир физической географии. Как видно из этого перечисления, рельеф и климат вроде бы не входят в сложные географические системы в качестве их элементов. Теперь чаще считают, что рельеф и климат являются свойствами этих систем: рельеф — это свойство поверхности литосферы, а климат — свойство динамики приземного слоя воздуха. Разнообразие рельефа раскрывается преимущественно через его геометрические характеристики. Климат характеризуется через режим процессов, протекающих в приземном слое воздуха.

Элементы географических систем связаны друг с другом путем обмена веществом и энергией. В природе реально существуют такие географически однородные участки, в пределах которых энергомассоперенос осуществляется как бы по некоторому плану. Эта однородность во многом определяется известным постоянством рельефа в их пределах. Такие однородные участки отделяются друг от друга то резкими, то постепенными переходами, а многие из них пространственно приурочены к существенным изменениям рельефа земной поверхности.

Наиболее просто устроенным элементом рельефа земной по-

верхности является склон. Если он геометрически представлен плоскостью, то ее можно охарактеризовать некоторым набором взаимосвязанных геометрических характеристик, важнейшими из которых являются длина, площадь, угол наклона и экспозиция (положение плоскости в пространстве и по отношению к источникам тепла в одном случае и влаги — в другом). При изменении угла наклона склона и его экспозиции обязательно меняется количество тепла и влаги, поступающих на единицу поверхности. Это в свою очередь сказывается на бюджете солнечной энергии, которую организмы используют в ходе жизнедеятельности; в результате меняются растительность и почвы. Так рельеф изменяет соотношение элементов географической системы, и поэтому иногда его рассматривают в качестве базиса географических ландшафтов и по крайней мере говорят об их морфолитогенной основе.

Рельеф определяет распределение атмосферных осадков на земной поверхности, нарушая закономерности, обусловленные шарообразностью планеты и распределением по поверхности Земли океанов и континентов. С ростом абсолютной высоты растений количество атмосферных осадков. Но увлажненность территории определяется еще и испарением и стоком поверхностных вод. Относительно более крутые склоны из-за большой скорости стока как бы недополучают некоторое количество воды и являются более сухими. На склонах, обращенных к солнцу, также велики потери воды, связанные с высокой ее испаряемостью.

И наконец, рельеф земной поверхности как бы перераспределяет гравитационную энергию — один из главных факторов, определяющих функционирование географических систем. Распределение высот одновременно является и распределением потенциальной энергии. От градиентов высот (уклоны склонов) в значительной степени зависят интенсивность и скорость перемещения вещества по поверхности Земли. Движение поверхностных и подземных вод, движение прунтовых масс — все определяется рельефом местности. И даже движение воздуха в приземном слое направляется рельефом местности, а иногда рельеф даже служит причиной перемещения холодного воздуха.

Рельеф земной поверхности можно рассматривать как сложную систему неровностей разных размеров, наложенных друг на друга. Обычно говорят об иерархии форм рельефа. Самыми крупными из них, как известно, являются матерки и океаны с размахом высот около 20 км и площадью в десятки сотен миллионов квадратных километров. Самые маленькие элементы и формы рельефа имеют превышения в первые сантиметры — десятки сантиметров с площадью, измеряемой квадратными дециметрами; более мелкие неровности геоморфологи изучают редко. Таким образом, размах высот изменяется в пределах 6—7 порядков величин, а площадь — 16—17 порядков. Общепринятая классификация форм рельефа пока отсутствует, но боль-

шинство геоморфологов выделяет 7—8 иерархических уровней рельефа — неровностей земной поверхности разного порядка.

С разнопорядковыми элементами рельефа связаны разно-ранговые ландшафтно-географические системы, или природно-территориальные комплексы (ПТК). Выделенные в значительной мере по элементам рельефа, они обладают своей собственной структурой почвенно-растительного покрова, режимом поверхностных и подземных вод, а также режимом приповерхностного слоя воздуха. Основным звеном в иерархии ПТК является фацция, которая в отдельных случаях делится на подфацции и парцеллы. Фацции, объединяясь, образуют урочища, а закономерная совокупность урочищ создает ландшафт. Поскольку природа сложна и многообразна, то в каждом конкретном случае выделяют и промежуточные иерархические уровни ландшафтно-географических комплексов — звенья, сложные урочища, стрип (полосы) и др.

Наряду с общепринятой схемой деления ПТК на разные иерархические уровни, созданной Н. А. Солнцевым, существуют и другие способы анализа пространственной организации ландшафтно-географических систем. Среди них особого внимания заслуживает бассейновый анализ, который в физической географии развивается А. Ю. Ретеюмом и некоторыми другими географами. Нам здесь важно подчеркнуть, что и в этом случае рельеф в выделении разноранговых ПТК играет значительную роль, влияя на поверхностный сток и приобретая тем самым особые черты. В результате возникают сложно построенные отрицательные формы рельефа — речные бассейны. Их особенностью является то, что наиболее просто устроенным элементом рельефа, а стало быть и ПТК определенного ранга, становится склон, опирающийся на русла разных порядков. Последние образуют хорошо организованные системы, структура которых поддается формализованному описанию.

В любом ПТК независимо от его ранга рельеф выполняет определенные функции, и в системах сравнительно легко устанавливаются определенные бинарные связи: рельеф и климат; рельеф и почвенный покров; рельеф и растительный покров; рельеф и сток поверхностных и подземных вод. Остановимся на каждой из этих пар взаимосвязанных явлений в ПТК несколько более подробно.

Рельеф и климат. Связи между рельефом и климатом многогранны. Многие черты климата Земли так или иначе связаны с рельефом ее поверхности. Вместе с тем хорошо известно, что с изменением климата определенным образом изменяется и рельеф. Для целей инженерной геоморфологии важно знать как прямые, так и обратные их отношения. Чтобы раскрыть связи между климатом и рельефом более конкретно, необходимо дать определенные понятия «климат» (определение понятия «рельеф» дано выше).

Климатом принято называть многолетний режим погоды, на-

блюдаемый в данной местности. При этом под режимом погоды понимаются совокупность и последовательность смен погоды. Такое определение дано в БСЭ. В других изданиях (например, «Краткая географическая энциклопедия», приводится близкое определение: климат — многолетний режим погоды, т. е. совокупность и последовательность смен всех возможных в данной местности условий погоды. Климат — совокупность атмосферных условий, присущих данной местности в зависимости от ее географической обстановки (Хромов, 1968. С. 13).

Выделяют несколько уровней географического анализа климата: макроклимат, местный климат и микроклимат. Различия в макроклимате улавливаются на больших расстояниях, измеряемых сотнями, иногда тысячами километров. Изменения микроклимата наблюдаются на расстоянии десятков — сотен метров (климат поляны, леса, долины и даже склона определенных крутизны и экспозиции). Мезоклимат, или местный климат, занимает промежуточное положение между макро- и микроклиматом. Разделение мезо- и микроклимата часто имеет условный характер. В этих определениях геоморфологам важно подчеркнуть территориальный аспект разделения этих понятий и некоторую неполноту территориальной смены. В науках о Земле нередко употребляют и такие понятия, как климат Земли (Земли как пространственного целого). Последний испытывает периодические изменения, и с ними связывают глобальные перестройки структуры ландшафтной оболочки Земли, в частности смену ледниковых и межледниковых эпох, в том числе и изменения рельефа.

Отсутствие четкой территориальной иерархии климатов в климатологии объясняется тем, что границы между разными климатами на местности проводить непросто. Их нередко находят в изменениях растительности, почвенного покрова и режимов рек. Иными словами, границы климатических зон, областей и районов ищут (и находят!) в географических явлениях — откликах. И, вероятно, территориальная иерархия ландшафтов может служить основанием для создания иерархии климатов. Отсюда разнопорядковым элементам рельефа могут соответствовать и разнопорядковые уровни климатов. Если такую точку зрения принять, то и анализ взаимосвязей между рельефом и климатом приобретет необходимую строгость.

Прежде чем переходить к примерам, следует обратить внимание еще на одну особенность определения понятия климат — это обязательная связь климата с режимом погод и влиянием подстилающей поверхности. Режим погод определяется, как известно, формирующими его факторами. К ним относятся географическое положение: широта, долгота и абсолютная высота местности (в последней координате в неявной форме присутствует рельеф), а также особенности циркуляции атмосферы. Режим погод выявляется наблюдениями за ходом атмосферных процессов во времени. Это хорошо видно в способах описания клима-

та. Обычно он характеризуется его главными элементами — температурой и влажностью воздуха. Различия погоды записываются в значениях среднесуточных, среднемесячных и среднегодовых температур, а также соответствующих сумм осадков. В этих характеристиках элементов климата в неявной форме присутствует время, его определенный срок, по которому проводится осреднение (сутки, месяц, год и др.). В науках о Земле есть и такие понятия, как климат ледниковой эпохи. Для их характеристики используется иная масштаб времени и вводятся такие понятия, как сезон, фаза, цикл. Однако сопряженной системы понятий, раскрывающей соотношения пространственно-временной климатической иерархии, пока нет. И это затрудняет проведение анализа взаимосвязей между климатом и элементами ландшафта.

Поскольку климат — определенный режим погод, и он связан с рельефом, необходимо провести анализ связей между особенностями погод и рельефом. Инженеру-геоморфологу важно знать, что участвующие в экзогенном рельефообразовании тепло и влага преобразуются в ходе определенных физических процессов в тропосфере. При этом осуществляются приток, отдача и перенос тепловой и кинетической форм энергии, испарение, конденсация водяного пара и перенос влаги и др. Характер и интенсивность этих процессов меняются с высотой, и в силу этого в тропосфере существует несколько слоев с разными соотношениями этих процессов. Обычно климатологи выделяют приземный слой толщиной в несколько метров (до десятков метров) и слой трения толщиной порядка 1000 м. Однако число слоев может меняться от места к месту, а также и во времени в зависимости от характера подстилающей поверхности (водная поверхность, снег, открытая почва, растительные покровы разного типа и др.) и состояния природы. Земная поверхность пересекает эти слои на разной абсолютной высоте, и поэтому особенности течения метеорологических процессов у земной поверхности неодинаковы. Приземный слой воздуха низменных равнин отличается от такового над возвышенными плоскогорьями. Отличаются и режим температур, и режим влажности. Именно эти различия находят свое отражение в разнообразии местных климатов и микроклиматов равнинных и горных территорий. Следует также обратить внимание на то, что на характер метеорологических процессов оказывает влияние и тип подстилающей поверхности, который в свою очередь зависит от рельефа (наличие водоемов, распределение почвенно-растительного покрова, наличие ледников и др.). Стало быть, рельеф и его особенности могут оказывать прямое влияние на ход метеорологических процессов или косвенное — через другие компоненты географического ландшафта. При анализе влияния рельефа на метеорологические процессы и смену погод в первую очередь следует обратить внимание на связь рельефа с особенностями циркуляции атмосферы и балансом солнечной радиации.

Циркуляция атмосферы — сложный комплекс процессов протекающих в атмосфере, в характере которых отражается приход-расход солнечной энергии, шарообразность Земли, ее вращение, наклон оси вращения, расположение материков и океанов на поверхности нашей планеты. Последнее определяется наличием самых крупных форм рельефа Земли. Ведь океаны — это заполненные водой отрицательные формы рельефа, а материки — положительные формы неровностей 1-го порядка. Если изменить размеры, конфигурацию и положение материков по отношению друг к другу, изменится система океанических течений, а вместе с тем и положение барических максимумов и минимумов, которые определяют зарождение циклонов и антициклонов. Так самые крупные формы рельефа определяют климат Земли в целом и отдельных ее регионов.

Солнечная радиация и рельеф. Рельеф оказывает влияние и на поступление солнечной радиации (в особенности прямой). Если бы поверхность Земли была однородной и ровной, то приход прямой солнечной радиации зависел бы лишь от широты местности и убывал от экватора к полюсам пропорционально косинусу широты. Наличие неровностей сильно усложняет эту картину, так как склоны, обращенные к Солнцу и расположенные перпендикулярно к его падающим лучам, получают намного больше лучистой энергии, чем остальные склоны с иными углами наклонов и экспозицией. Учитывая это, а также наклон оси вращения Земли к плоскости эклиптики, на Земле можно выделить три различных типа морфорационных поясов с неодинаковым распределением прямой солнечной радиации по рельефу: приполярный, умеренный и приэкваториальный.

В приполярных областях крутые склоны получают больше прямой солнечной радиации, чем пологие, при малом влиянии различий в их экспозиции. В областях умеренного пояса в равной мере играют роль как крутизна, так и экспозиция склонов, и легко можно обнаружить «солнцепечные» склоны и «сивера» (в Северном полушарии). При этом максимум прихода прямой солнечной радиации приходится на склоны южной экспозиции, а крутизна склонов с максимумом прямой солнечной радиации изменяется в течение года в зависимости от широты местности. Наиболее контрастно в этом поясе распределение прямой солнечной радиации по склонам различной крутизны и экспозиции зимой, при самой низкой высоте Солнца над горизонтом. И наконец, приэкваториальный тип морфорационного пояса. Здесь больше прямой солнечной радиации должны получать горизонтальные поверхности и пологие склоны. Независимо от их экспозиции с увеличением крутизны приход прямой солнечной радиации должен падать. В известном смысле приэкваториальная и приполярные области оказываются противоположными. Там распределение солнечной радиации по склонам разных крутизны и экспозиции затушевывается по ряду причин: распределением рассеянной солнечной радиации; взаимной затененно-

стью склонов, которая определяется глубиной расчленения местности и разной ориентировкой орографических линий; суточным ходом изменения погод, с которым связаны меняющиеся во времени облачность и прозрачность атмосферы.

Распределение тепла по различным элементам рельефа зависит не только от поступлений прямой солнечной радиации, но и от других причин, в частности и от адвекции тепла и холода, которая может быть связана с циклами циркуляции атмосферы. Циркуляционные смены погод в реальной обстановке осложняются местными условиями. В причинах этих изменений большое место принадлежит рельефу. Его влияние особенно заметно при антициклональных режимах погоды. В это время ночью холодный воздух стекает в понижения, образуя «холодные озера воздуха» и «холодные потоки». С этими течениями в поздневесеннее и раннеосеннее время бывают связаны заморозки, а зимой, особенно в горных котловинах, — инверсии температур.

Температура воздуха и рельеф. Температура воздуха характеризует теплообмен между воздухом и подстилающей поверхностью. Воздух нагревается (охлаждается), проходя над земной поверхностью, и в то же время отдает тепло, нагревая последнюю. Суточные колебания температур проникают в почву на глубину до 1 м, а в воде — до десятков метров. Годовые колебания проникают на 10—20 м¹. Амплитуды температур на поверхности почвы зимой колеблются в пределах 5—10°, а летом — 10—20°, иногда и выше. Конечно же, они изменяются в зависимости от широты и абсолютной высоты местности. В распределении температур с глубиной установлены определенные закономерности: период колебаний не изменяется с глубиной, амплитуда с глубиной падает по геометрической прогрессии (первый и второй законы Фурье). На глубинах 70—100 см суточная амплитуда колебания температур близка к нулю. Суточная амплитуда температуры воздуха также изменяется по широте и сезонам года. Большое влияние на ее изменения оказывает и рельеф местности: в вогнутых формах рельефа она увеличена, а над положительными формами уменьшена (закон Воейкова). В узких ущельях амплитуда температур меньше, чем в широких долинах и депрессиях. Над густым растительным покровом и над водной поверхностью она понижена. В горах амплитуда суточных температур воздуха с высотой убывает, но медленнее, чем в свободной атмосфере, на высоких обширных плато — такая же, как в низинах.

Осадки и рельеф. Влагооборот является одним из важнейших циклов, формирующих климат. Он начинается с испарения. Во влагонасыщении воздуха большую роль играет транспирация. Влажосодержание воздуха зависит от количества водяного пара, попадающего в воздух в результате испарения воды и транспирации. Влажосодержание, как известно, характеризуется

¹ Эти данные и ниже даются по С. П. Хромову (1968).

упругостью водяного пара, абсолютной и относительной влажностью. С суточным и годовым ходом абсолютной и относительной влажности связано выпадение атмосферных осадков в виде дождя и снега. Выпадение осадков, их количество и режим тесно связаны с циркуляцией атмосферы. При этом обычно выделяют внутримассовые и фронтальные осадки. На ход осадков влияет рельеф местности, формирующий вместе с растительностью шероховатость поверхности. Наиболее заметно влияние наветренных и подветренных склонов: на первых количество осадков увеличивается, на вторых — убывает. С высотой изменяется и характер осадков. Выше некоторой гипсометрически определенной для каждого района мира границы осадки выпадают в виде снега. Этот уровень известен как снеговая граница в горах. Аналогично ей существует и плювиальная граница. Зимой эти границы гипсометрически снижаются, летом поднимаются.

Ветры и рельеф. Атмосфера Земли достаточно неоднородна и изменчива, в ней постоянно изменяются температура и содержание водяного пара, а также и других веществ. В результате изменяются плотность и давление воздуха. Так, например, при одинаковой температуре влажный воздух обладает меньшей плотностью, чем сухой. А холодный воздух всегда тяжелее и плотнее теплого. Это приводит к адвекции воздуха, которая у дневной поверхности характеризуется ветром. Распределение воздуха с разной плотностью и температурой создает барические системы, главными элементами которых являются циклоны и антициклоны — области низкого и высокого давления. На разных гипсометрических уровнях барический рельеф неодинаков, а отсюда следует, что рельеф подстилающей поверхности не может не оказывать влияния на конфигурацию и устойчивость барических систем. Так, например, зимний сибирский антициклон нередко полностью «умещается» в межгорные понижения, а на уровне вершинного пояса гор антициклон может даже отсутствовать. Элементы орографии земной поверхности оказывают большое влияние на движение воздуха в приземном слое: они создают препятствия на его пути; ветровой поток вынужден обтекать эти препятствия как с его боков, так и сверху. Чем больше сужение, через которое должен проходить воздух, тем сильнее увеличивается скорость ветра. К тому же рельеф как бы изменяет направление ветра. Так, рисунок речных долин, горных хребтов, побережий в плане оказывает влияние на повторяемость ветров различных направлений, а вместе с тем определяет и розу ветров в приземном слое воздуха. При перетекании воздуха через вершину препятствия скорость ветра также увеличивается. Однако за препятствием скорость его ослабевает. Этот эффект фиксируется на расстоянии, равном 30—50-кратной высоте препятствия (так, по крайней мере, влияют лесные полосы).

Увеличение ветра с высотой следует рассматривать как явление нормальное. Земная поверхность обладает высокой шеро-

ховатостью, которая сильно ослабляет движение воздуха. С высотой это влияние уменьшается, и скорость ветра по мере удаления от поверхности растет сначала быстро, а затем медленнее. Это изменение удовлетворительно описывается логарифмическим законом. Ветер в сочетании с рельефом оказывает влияние на детали распределения осадков по элементам рельефа. Так, в привершинной части на наветренных склонах количество осадков падает, а в привершинной части подветренных склонов возрастает, так как ветер замедляет в первом случае и увеличивает во втором скорость выпадения мелких дождевых капель (Хромов, 1968).

Этих примеров достаточно для того, чтобы увидеть многообразие влияния рельефа на климат. Сказанное выше можно было бы дополнить влиянием рельефа на распределение снежного покрова и процессы, в нем протекающие. С рельефом связаны частота и пространственное распределение туманов, промерзания и оттаивание почв и другие явления.

Не менее велико обратное влияние. Климатические условия той или иной территории сильно сказываются на спектре экзогенных процессов, частоте и интенсивности их проявления. Но отношения между климатом и рельефом сложны, крупные черты рельефа оказывают влияние на большой слой воздуха, малые — на более тонкий, а это в свою очередь сказывается на рельефообразовании. Региональные климатические условия, определяемые наряду с другими факторами крупными формами рельефа, являются в свою очередь условием существования и развития мезоформ рельефа (рельефа меньшего таксономического ранга), а последние оказывают влияние на микроклимат и местный климат. И затем следующий уровень обратного влияния: местный климат и микроклимат определяют пространственную дифференциацию современных рельефообразующих процессов (выветривание, склоновые процессы, флювиальные процессы малых эрозионных форм, нивальные процессы и др.).

Рельеф и почвенный покров. Почвенный покров является интегральным звеном в современном ландшафте. Как известно, почвенный покров формируется под воздействием трех основных факторов: 1) геологического субстрата, определяющего химический состав минеральной части; 2) органического вещества, которое поступает и преобразуется в почве благодаря жизнедеятельности растительности и животного мира; 3) климатических условий, обеспечивающих почвообразование теплом и влагой.

Рельеф выполняет при этом иные функции. Вещественный состав рыхлых отложений, на которых идет формирование почв, самым тесным образом связан с рельефом. Особенно это заметно в области распространения аккумулятивных форм, для которых типичны синхронное и сингенетическое образования рельефа и рыхлых отложений. Так, например, еще в конце 20-х годов нашего столетия К. К. Марков показал, что формы рельефа морского и ледникового происхождения в окрестностях Ленин-

града отличаются не только морфогенетически, но и по химизму слагающих их пород. Эти же различия в несколько меньшей степени проявляются в области распространения денудационного рельефа. Но здесь, пожалуй, четче прослеживается связь химического состава почвообразующих пород с возрастом, а не с генезисом рельефа. Это объясняется тем, что в областях денудации генетическое разнообразие форм рельефа невелико, а материал, испытывающий на себе воздействие процессов выветривания на разновозрастных элементах рельефа, прошел неодинаковую степень подготовки. На молодых формах рельефа состав элювия и склонового чехла претерпел, как правило, малые изменения по сравнению с исходным веществом литифицированных пород. В силу этого в его состав могут входить даже относительно подвижные химические элементы. На древних формах денудационного рельефа можно встретиться со зрелым элювием и даже корой выветривания. Чаще всего из них выносятся не только щелочи, но и щелочноземельные элементы и даже в какой-то мере кремнезем. Таким образом, рельеф местности и его элементы, различные по своему происхождению и возрасту, отличаются по ряду физических и химических свойств того рыхлого чехла, который, с одной стороны, является коррелятным или конформным рельефу, а с другой — вещественным субстратом, на котором возникают и развиваются почвы. При переходе от одной формы рельефа к другой меняется не только химический состав рыхлых отложений, но и ряд физических свойств. Так, часто изменяются гранулометрический состав грунтов и их пористость, имеющие важное значение для почвообразования.

Еще один фактор, определяющий процессы формирования почвенного покрова, — соотношение тепла и влаги — также в какой-то степени контролируется рельефом. Выше было показано, что распределение тепла меняется в зависимости от крутизны и экспозиции склонов, и два смежных участка склона могут иметь различный баланс тепла. Последнее определяет скорость химических реакций, протекающих в ходе почвообразования. В различных термических условиях по-разному идет разложение гумуса на пути от мортмассы к опадку и далее к грубому и тонкому гумусу. Распределение тепла по элементам рельефа влияет на жизнедеятельность организмов, создающих запасы органического вещества и принимающих участие в цепочке трофических связей, способствующих переходу этого вещества в органические и органо-минеральные соединения почвы.

Влага в почвообразовании играет не менее важную роль, чем тепло. Перемещая органические, органо-минеральные и минеральные вещества в виде истинных и коллоидных растворов, вода определяет тип почвообразующего процесса, а ее количество и качество — скорость формирования вертикального профиля. Поступая с поверхности почв в виде атмосферных осадков, вода, как известно, частично испаряется, частично стекает по поверхности, а частично фильтруется. Соотношение этих трех

статей расходной части бюджета воды контролируется рельефом. При больших уклонах и малой пористости, малых коэффициентах фильтрации большая часть воды стекает, не успевая ни испариться, ни просочиться в покровные комплексы рыхлых отложений. На пологих поверхностях склоновый сток уменьшается и возникает реальная возможность для вертикального перемещения продуктов почвообразования и формирования вертикального профиля почв. Так, подзолистые почвы умеренной зоны равнин, образованные в плакорах, переходят в слабоподзоленные, а иногда в дерново-подзолистые на склонах.

Наличие уклонов местности создает обстановку для латерального взаимодействия почв разных типов, расположенных по линиям тока вод. Так, в основании делювиальных склонов нередко возникают намывные почвы с большой мощностью гумусового горизонта, а в областях интенсивного смыва — скелетные почвы с эмбриональным характером генетических горизонтов. Сильно отличаются почвы горных склонов и равнинных территорий. Почвы на склонах достаточно большой длины могут отличаться друг от друга по составу комплекса поглощенных оснований. Как правило, в пришовной части склонов в комплексе поглощенных оснований будут встречаться более подвижные химические элементы по сравнению с почвами, расположенными в верхней трети склонов.

Изменение свойств почвенных разностей в зависимости от рельефа в конечном счете объясняет и обратное влияние в системе «почва — рельеф». Почвы разного генетического типа характеризуются различной реакцией на действие рельефообразующих процессов. Они по-разному набухают, размокают и обладают неодинаковой противоденудационной стойкостью.

В современном почвоведении при изучении взаимосвязей между рельефом и почвенным покровом для целей классификации и почвенного картирования введено особое понятие — почвенная катена, предложенное Д. Мильном в 1935 г. Катена — некоторый комплекс взаимосвязанных разновидностей почв, иногда относящихся даже к различным генетическим типам, но закономерно расположенных в пространстве по отношению к рельефу. Понятие катена по своему смыслу похоже на парагенетические комплексы осадков в литологии, но в нем раскрываются пространственные отношения только почв. Типы катен изменяются в зависимости от типа рельефа и ландшафтно-климатических условий местности. Почвы внутри катены меняют свои свойства. Так, А. Дж. Джерард (1984) пишет, что внутри катены могут меняться дренажные свойства, цвет, гумусность и др. Почвы катены измежаются и во времени. При этом отмечается, что горизонт почв А быстрее реагирует на изменения климата, растительности и др. Горизонт В реагирует на внешние изменения медленнее. Автор выделяет катены тропических саванн, влажного тропического леса, аридных и семиаридных областей.

умеренных и тундровых регионов. Нетрудно построить классификацию катен и на других основаниях.

Рельеф и растительный покров. Связь рельефа с растительностью в большой мере носит опосредованный характер. Растительность, как известно, тесно связана со средой обитания, растения получают свет, питание, тепло и влагу. Окружающая среда как бы состоит из ряда факторов, активно воздействующих на растительность. В экологии растений эти факторы объединяют в ряд групп, главными из которых являются: 1) климатические; 2) эдафические (почвы, рыхлые отложения, горные породы); 3) биотические; 4) исторические и др. Каждый из видов растительности характеризуется определенным типом местобитания, для которого типичным является закономерное сочетание факторов среды.

Выше было показано, как, каким образом рельеф оказывает влияние на климат и почвенный покров. И здесь можно сказать, что рельеф, изменяя местный климат и микроклимат, оказывает воздействие и на растительность. Иногда экологи выделяют в качестве факторов среды и орографический. В этом случае описывают высотную поясность растительности в горах, влияние абсолютной высоты на растения у верхней границы леса, экспозицию, углы наклона склонов и др. Конечно, здесь можно увидеть первопричину изменения растительности в рельефе местности. Однако нетрудно заметить, что конкретной причиной, вызывающей изменения растительности, является не рельеф, а изменение соотношения тепла и влаги, освещенности — затененности, а также состава приходящей солнечной радиации (в частности, изменение доли ультрафиолетового и фотоактивного излучения). В приведенных примерах на растительность воздействуют климатические причины. Рельеф здесь — явно опосредованно действующий фактор. То же самое можно сказать и о тех случаях, когда меняющийся рельеф оказывает влияние на изменение свойств почвенного покрова. А затем уж он выступает в качестве эдафического фактора среды, оказывающего влияние на растительность.

В менее четкой форме можно проследить влияние рельефа на растительность через исторический фактор среды. Известно, что каждый вид растительности ведет себя в природе как сложная система, как определенная целостность (биоценоз). Ее главные черты не возникают сразу, и многие из них имеют определенную историю. Некоторые из растительных форм могут войти в состав ценоза относительно недавно, другие представляют собой реликты и оказываются частью целого в результате процессов адаптации. Они нередко сохраняются от прошлых геологических эпох в результате особых сочетаний природных процессов, в том числе и процессов рельефообразования. Таким образом, история развития рельефа и история развития растительности могут иметь определенную общность в соотношении причин и следствий. Так, смена ледниковых и межледниковых эпох слу-

жила причиной изменения рельефа и растительности, и в определенных элементах современной флоры могут сохраняться следы былых климатических фаз похолоданий и оптимумов.

Наряду с косвенным характером влияния рельефа и рельефообразующих процессов на растительность можно обнаружить некоторые виды их прямых отношений. Экзогенные рельефообразующие грунтовые потоки могут способствовать распространению отдельных растений в виде семян и вегетативных органов. Таковы водные потоки, вдольбереговые и другие течения, ветер, склоновые потоки. Эти перемещения могут быть близкими или далекими. В последнем случае растение может оказаться в совершенно иных условиях среды произрастания и в силу этого может даже менять свои жизненные формы. В условиях быстроменяющейся внешней среды растения должны приспосабливаться к необычным условиям временного затопления на днищах долин и озер, развевания песков, схода лавин и селей. Катастрофические геоморфологические явления разрушают сложившиеся растительные сообщества и создают как бы новое пространство для пионерного освоения и последовательной смены сукцессий.

Растительность в свою очередь оказывает влияние на рельеф и ход рельефообразующих процессов. Так, например, лесная растительность нивелирует влияние экспозиции и углов наклона склонов по распределению света и тепла. Тем самым нивелируется ход процессов выветривания. Транспирация растительностью поглощенной из почвы влаги изменяет влажность грунтов и затрудняет действие ряда склоновых процессов. Растительность может быть причиной роста темпов аккумуляции наносов в руслах рек и на берегах озер и морей. Нарушение растительного покрова может служить причиной активизации современного экзогенного рельефообразования.

Рельеф и сток поверхностных и подземных вод. Как уже было показано выше, рельеф местности определяет закономерности выпадения атмосферных осадков. Но неравномерность увлажнения склонов зависит в большей мере от распределения атмосферной влаги в ландшафте.

Существенными факторами формирования стока подземных и поверхностных вод являются распределение снежного покрова, наличие в водосборных бассейнах многолетних снежников, многолетней мерзлоты, наледей и ледников. Пространственная локализация этих явлений, условия их возникновения и существования в конкретной местности зависят и от рельефа: от глубины расчленения, затененности, экспозиции склонов и др. В формировании стока поверхностных и подземных вод большое значение имеет соотношение испарения, фильтрации и склонового поверхностного стока. Увеличение испарения на склонах южных румбов в зоне умеренных широт Северного полушария неизбежно должно вести к потерям в стоке. Увеличение крутизны склона уменьшает время добегаания, увеличивает сток по-

верхностных вод, вызывает увеличение амплитуды колебаний уровней и расходов воды в ручьях и реках. Однако при этом уменьшается фильтрация вод в грунты и сокращается питание подземных вод. Выполаживание рельефа приводит к увеличению доли подземного питания рек, растягиванию паводков во времени.

Изменяя режим стока подземных и поверхностных вод, рельеф местности оказывает влияние на качество вод. Так, сокращение времени добегаания меняет количество растворенного вещества и рН природных вод. Измененный режим поверхностных и подземных вод в свою очередь оказывает влияние на ход флювиальных процессов, процессов суффозии и карста.

В любом ландшафте существует многообразие связей между его компонентами. В нем циркулируют и проходят различные превращения вещество и энергия. Рельеф земной поверхности оказывает заметное влияние на ход многих природных процессов, осуществляющих функционирование сложных природных систем различного иерархического уровня. Занимаясь оценкой рельефа в инженерных целях, геоморфолог не может не учитывать той сложности взаимосвязанных явлений, в которых разрушение одного звена ведет к цепочке иногда непредвиденных и нежелательных последствий.

6.2. АНТРОПОГЕННОЕ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЛАНДШАФТ

С момента появления человека на Земле его деятельность стала активным фактором преобразования ландшафтов. В первую очередь менялись растительность и почвенный покров в местах, соседствующих с поселениями. По мере роста производительных сил и энерговооруженности производства воздействие человека на окружающую среду приобрело весьма разнообразный характер. При этом заметно возросли и интенсивность воздействия, и широта территориального охвата. Теперь уже все элементы природного ландшафта начинают испытывать преобразующее и далеко не всегда рациональное воздействие человека. Заметно изменяется рельеф. Естественные формы рельефа приобретают новые черты, а подчас возникают и новые формы рельефа, совершенно чуждые геоморфологическому ландшафту и нарушающие нормальный ход его функционирования.

Геоморфология встретила с необходимостью изучения форм рельефа антропогенного происхождения в ходе геоморфологического крупномасштабного картографирования освоенных человеком территорий. Возникла определенная дилемма: не показывать искусственно созданные формы рельефа, а на их месте воссоздать уничтоженный природный рельеф и тем самым не обращать внимание на современный ход процессов рельефообразования или показывать на картах искусственно созданные фор-

мы, подчеркивая все то, что вносит человек в современное рельефообразование. Постепенно возобладала вторая точка зрения. Этому способствовали участвовавшие катастрофические процессы, причастность человека к которым не вызвала сомнений. Для целей геоморфологического картографирования потребовалась классификация форм рельефа. И, естественно, на геоморфологических картах появились города, поселки, шахты, карьеры, отвалы и другие формы. В первых легендах еще не было строгой их классификации, но, следуя историко-генетической концепции геоморфологии, в антропогенных формах геоморфологи увидели выработанные и насыпные формы — аналоги денудационного и аккумулятивного рельефа. Также сравнительно просто выделились группы различного происхождения антропогенного рельефа. В качестве агентов, определяющих происхождение антропогенного рельефа, стало обычным рассматривать различные виды хозяйственной деятельности человека. На карте были выделены группы антропогенных форм сельскохозяйственного, транспортного и других способов производства. По исследованиям С. С. Черноморца (1987), одна из первых классификаций была создана в 1949 г. В. Г. Бондарчуком, который выделил комплексы антропогенных форм или «культурные геоморфологические ландшафты», — сельскохозяйственный, ирригационный, горнопромышленный и оборонный. Многие современные классификации продолжают эти идеи, расширяя набор комплексов и используя иные термины. Несколько иначе к этому вопросу подошел А. С. Девдариани (1954), который увидел в действиях человека не только генетически разнообразный набор типов рельефообразования, но и определенные соотношения естественных и искусственных процессов. Он разделил все формы рельефа на естественные, искусственные, одичалые, окультуренные и возбужденные. Здесь в лаконичных терминах подчеркнута еще одна важная сторона рельефообразования — вмешательство человека в ход естественных процессов и оценка его последствий. Эти идеи продолжают жить и в настоящее время, хотя и претерпели некоторую трансформацию. Наряду с классификациями в учении об антропогенном рельефообразовании (антропогенной геоморфологии) работа идет в нескольких направлениях: разработка основ теории (уточнение предмета и методов исследований, выделение основных понятий); создание общих и региональных классификаций; оценка масштабов антропогенных преобразований естественного рельефа; изучение антропогенных процессов рельефообразования и естественных процессов, ускоренных человеком; выяснение истории антропогенного рельефообразования; создание концепций для картографирования антропогенного рельефообразования; региональные исследования и др.

Для становления антропогенной геоморфологии большое значение имеют работы В. Г. Бондарчука, А. С. Девдариани, Э. Режа, А. В. Сидоренко, А. И. Спиридонова, Ф. В. Котлова,

П. Ф. Молодкина, В. Н. Милькова, Я. Демека, З. А. Сваричевской, И. Л. Лутвинова, Л. Л. Розанова и др.

Одной из наиболее полных классификаций является классификация С. П. Горшкова (1982), который предложил разделять антропогенные процессы и связанные с ними формы экзогенного рельефа на две группы: процессы-мероприятия и процессы-следствия. В целом эта классификация антропогенных процессов как бы продолжает взгляды В. Г. Бондарчука, но они дополнены и улучшены идеями, весьма важными для целей инженерной геоморфологии. Особенно плодотворной кажется идея о существовании процессов-следствий, анализ которых должен обязательно входить в инженерно-геоморфологическую оценку территории. Все экзогенные рельефообразующие процессы вслед за В. И. Галицким С. П. Горшков предлагает называть экзодинамическими. Кроме того, в классификации выделены природные, антропогенные и природно-антропогенные процессы. Ниже приводится классификация, которую он предлагает.

1. Сельскохозяйственные мероприятия и их следствия.

Земледелие:

антропогенные процессы,
природно-антропогенные процессы.

Выпас:

антропогенные процессы,
природно-антропогенные процессы.

2. Рекреационные мероприятия и их следствия:

антропогенные процессы,
природно-антропогенные процессы.

3. Лесохозяйственные мероприятия и их следствия:

антропогенные процессы,
природно-антропогенные процессы.

4. Водохозяйственные мероприятия и их следствия.

Водохранилища:

антропогенные процессы,
природно-антропогенные процессы.

Каналы.

5. Добыча полезных ископаемых и ее следствия.

Добыча полезных ископаемых в карьерах:
антропогенные процессы-мероприятия,
антропогенные процессы-следствия,
природно-антропогенные процессы.

Добыча нефти и газа через скважины:

антропогенные процессы-мероприятия,
антропогенные и природно-антропогенные процессы-
следствия.

6. Рекультивация земель.

7. Урбано-промышленные мероприятия и их следствия.

Городские территории:

антропогенные процессы,
природно-антропогенные процессы.

8. Коммуникационно-транспортные мероприятия и их следствия.

Автомобильные дороги.

Железные дороги.

Магистральные трубопроводы.

9. Военные действия:

антропогенные процессы,

природно-антропогенные процессы.

Описанная классификация интересна тем, что каждому классу процессов соответствует и определенный комплекс форм рельефа, который можно рассматривать как сложную геоморфологическую систему. Например, урбано-промышленные мероприятия и их следствия. Здесь имеется большое разнообразие типов инженерных сооружений. Ограничимся анализом городских территорий. Ссылаясь на Ф. В. Котлова, С. П. Горшкова (1982) дает следующее определение: урбанизированные территории представляют собой комплекс инженерных объектов, озелененных площадей, оголенных земель, мест с различного рода материалами и отбросами. Он также выделяет материальные элементы города: промышленные предприятия, жилые и общественные застройки, мосты, виадуки, железнодорожные станции и др. На 1964 г. во всех городах масса всех построек, по данным С. П. Горшкова, составила 22,4 млрд т, или 22 т/человека, со скоростью ее накопления чуть меньше 1 т/человека·год. Все постройки в городе, несомненно, можно рассматривать как неровности земной поверхности, т. е. как своеобразный ее рельеф. Л. Л. Розанов (1985) предлагает называть этот вид неровностей «рельефоидами» (рельефоподобными образованиями). Антропогенными процессами-мероприятиями, по мнению С. П. Горшкова, в городах являются следующие виды работ (виды деятельности человека): 1) строительно-ремонтные; 2) транспортные; 3) промышленное производство; 4) коммунально-бытовые; 5) выработка тепловой электрической энергии. В ходе этих мероприятий-процессов расходуется огромный объем материалов и энергии, которые можно рассматривать как антропогенно обусловленные потоки. Эти потоки оказывают влияние на окружающую среду и видоизменяют атмосферу, гидросферу и литосферу. При этом можно видеть в литосфере следующие изменения: накопление культурного слоя, уплотнение пород под тяжестью зданий, оврагообразование, понижение уровня подземных вод, оседание земной поверхности (связанное с понижением уровня грунтовых вод), уплотнение пород при транспирации воды деревьями в парках, сдвигание грунтов в массиве, образование мульд проседания и провалов, повышание уровня подземных вод (при их утечке из различного вида водоводов) и др. Это уже, конечно, процессы-следствия, так или иначе связанные с действием человека (антропогенными процессами), которые приводят к антропогенному рельефообразованию. Так как города имеют разноэтажную застройку на магистральных улицах и в

кварталах, в районах новой и старой застройки, а здания выполняют различные функции, то преобразование рельефа в городах имеет, как пишет С. П. Горшков, сотовый характер. Одни здания проседают медленнее, другие — быстрее. В одной части городской территории идет погружение фундаментов в связи со снижением уровня грунтовых вод, в другой — уровень подземных вод поднимается вследствие потерь воды в сетях водоснабжения (бытовых или промышленных) или в системах канализации. В одном месте насыпают овраги, а в другом — они растут. Изменения рельефа могут стать достаточно заметными. Так, например, высотное здание МГУ вызвало осадку поверхности глубиной около 5 см, что соответствует средней скорости погружения 1,7 мм/год. Замкнутый контур этой депрессии отстоит от периферии здания на 50—120 м. Консолидация (уплотнение) грунтов под зданием МГУ в полной мере не завершена. Депрессии, возникающие под крупными городами, по своей площади могут достигать нескольких тысяч квадратных километров. Максимальное опускание зафиксировано в г. Мехико и равняется 9 м; на 4,3 м опустился г. Токио; на 3,1 м — г. Осака в Японии. Эти величины говорят о масштабах явлений, но их значение и цепочки взаимных связей в полной мере еще не оценены.

В силу этого антропогенный рельеф, его происхождение и развитие не могут не входить в круг вопросов, которыми должна заниматься инженерная геоморфология. Еще на ранних стадиях изучения антропогенного рельефа особенно важными должны были быть работы по его описанию и инвентаризации. Но теперь все важнее становится не только установление происхождения «рельефоидов», но и описание функционирования антропогенно-геоморфологических систем, которые накладываются и замещают в пространстве естественные геоморфологические системы. Изучать их нужно для целей прогнозирования и управления поведением природно-антропогенных систем. При этом, конечно же, важно помнить, что человека в его отношениях с природой интересуют не только рельеф и его антропогенные изменения, но и реакция всей окружающей нас природы, в той или иной мере вовлеченной человеком в производство.

Именно здесь полезно вспомнить, что рельеф является частью окружающей нас природной среды, который наряду с породами, слагающими верхние горизонты литосферы, составляет морфолитогенную основу ландшафта. Изменяя рельеф, мы неизбежно изменяем и другие компоненты ландшафтно-географических систем, нарушаем сложившиеся в этих системах связи и стационарность функционирования. Вот поэтому рельеф следует охранять, как охраняются законом воды, воздух, почвы, растительность, животный мир и недра. А все изменения рельефа должны быть согласованы с правилами рационального природопользования.

7. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Рельеф любой местности, являясь естественным базисом ландшафта, выполняет ряд функций, нарушение которых неизбежно вызывает цепочку изменений в природной среде. Именно поэтому и должны быть поставлены вопросы его охраны и рационального использования. Рельеф активно используется человеком в различных целях. Как часть природного ландшафта он обладает и эстетической ценностью, измерить которую далеко не просто. Так, известна тяга людей к горам, побережьям, пересеченной местности. Правда, одним привлекательными кажутся холмистые местности, другим — гористый ландшафт, а третьих тянет к себе равнина, открытый до далекого горизонта мир. Эти качества рельефа можно также отнести к разряду социальных и хозяйственных функций.

Таким образом, в основе анализа рельефа в целях охраны природы и рационального природопользования лежит функциональный анализ — анализ выполняемых рельефом функций. Методика проведения такого анализа в геоморфологии пока еще не определена. Провести такой анализ — это значит раскрыть конкретные связи между рельефом и другими свойствами природных, территориальных, производственных и социальных комплексов, а также установить пространственно-временные взаимосвязи между элементами рельефа. В последнем случае важен анализ непосредственного соседства и характера парагенетических отношений, а также учет дальнего действия одних видов рельефообразования на другие. Выявленные отношения могут быть использованы для отбора критериев в оценке геоморфологической рациональности того или иного вида землепользования. Нетрудно предположить, что методологической базой такого анализа должен стать системный анализ.

В геоморфологическом анализе функций рельефа могут возникать морфометрические и историко-генетические аспекты. Их синтез и создает основу для окончательного суждения о сущности рельефа той или иной местности. При этом можно выделить пять типов функций, выполняемых рельефом в природных территориальных комплексах: 1) морфоклиматические; 2) морфогидрологические; 3) морфонедологические; 4) морфобиологические; 5) морфолитологические.

В предыдущей главе было показано, что эти функции взаимосвязаны друг с другом. Так, например, изменяя микроклимат, перераспределяя тепло и влагу, рельеф оказывает влияние

на питание поверхностных и подземных вод, изменяет ход процессов рельефообразования и сохранность почв и, наконец, определяет условия обитания растений. Рассмотрим сначала парагенетические отношения и изменение функций рельефа в связи с морфологией и морфометрией рельефа.

7.1. ФУНКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЛЬЕФА И ИХ КОМПЛЕКСОВ

Известно, что в природе рельеф любой местности состоит как бы из трех основных элементов: пологих поверхностей водораздельных пространств (плакоров), склонов и днищ отрицательных форм рельефа (речных долин, озерных котловин и др.). При этом один элемент плавно переходит в другой или резко отделяется от него морфологическими границами: плакоры от склонов — бровками, склоны от днищ — шовными линиями. Кроме того, склоны иногда переходят в склоны же, но других экспозиций или углов наклона, и тогда их границами могут служить бровки, шовные линии, ребра и тальвеги. Иногда плакоры выпадают и заменяются гребнями горного рельефа.

Велико морфологическое разнообразие каждого из элементов этих комплексов. Они отличаются друг от друга абсолютной H и относительной h высотой, углом наклона α , экспозицией или азимутом падения $A_{ск}$, площадью F , формой в плане $K_{фор}$. Эти их свойства можно рассматривать как морфометрические параметры. Естественно, если велико разнообразие каждого из параметров, то еще большим должно быть разнообразие их сочетаний. Однако на практике геоморфолог никогда не наблюдает их полный набор, так как в природе встречаются лишь закономерные их комплексы. Закономерные сочетания морфометрических параметров связаны с типом рельефа и стадией его развития. Чтобы уменьшить число морфометрических комплексов, функциональный анализ необходимо проводить лишь на вполне определенных ограниченных территориях в связи с конкретными задачами прикладного характера. А в тех случаях, когда географический объект по своим размерам огромен (например, страна в целом), следует провести специальное районирование, и лишь затем для каждого из выделенных районов можно провести функциональный анализ рельефа.

Для выполнения такого анализа на небольшой территории необходимо сначала разделить ее на элементарные морфологические единицы, которые получаются путем проведения на карте избранного масштаба каркасных линий рельефа (бровок, швов, ребер и тальвегов). Если их выделять по картам крупных масштабов, то правильный результат будет получен тогда, когда поверхности между каркасными линиями можно рассматривать как плоскости с выдержанными углами наклона и изменяющейся экспозицией. Такие элементарные поверхности будут геометрически однородными, и для них относительно просто рас-

считать приход солнечной радиации, затененность, сток, испарение и др.

Если такое выделение проводить для больших территорий по картам средних и мелких масштабов, то выделенные морфоэлементы будут не столь однородны физически, так как часть информации об их морфометрических свойствах будет потеряна из-за генерализации рисовки рельефа. Но и в этом случае их выделение будет иметь смысл. Правда, проведение расчетов потребует дополнительного выборочного анализа их морфологических свойств по картам крупного масштаба. Конечно, это окажется достаточно трудоемкой операцией.

В основе деления территории на морфоэлементы лежит выделение разнопорядковых бассейнов стока. Для кодирования порядков у нас в стране обычно используется система Философова — Стралера, которая определяет порядок в зависимости от последовательности слияния водотоков. Элементарным является такой водоток, который не имеет притоков. Ему присваивается 1-й порядок. Два водотока 1-го порядка, сливаясь, дают начало водотоку 2-го порядка. При слиянии двух водотоков 2-го порядка возникает водоток 3-го порядка и т. д. В этой системе все узлы слияния как бы делятся на две группы: порядокобразующие и непорядкообразующие. В первом случае к узлу слияния подходят два однопорядковых водотока. Ниже такого узла порядок реки возрастает на единицу. Если сливаются разнопорядковые водотоки, то ниже узла их слияния сохраняется порядок крупнейшего из них. Так, например, после впадения русла 2-го порядка в реку 4-го порядка ниже узла их слияния порядок сохраняется 4-м. Эта система кодирования порядков русел ведет свое начало от Р. Хортонa, но отличается более строго формализованными правилами определения порядка. Иногда пишут о системе Хортонa — Стралера, но такой системы кодирования порядков просто не существует.

Система бассейнов, выделенная для каждой территории, может служить основой для составления графа связи морфоэлементов местности. Когда такой граф построен, то каждому из элементов в связи с выполняемой им функцией можно присвоить некоторый индекс, сокращенно раскрывающий его характер. Так, например, поверхность плакора получает определенное количество сквадов. Его дальнейшая судьба в ландшафте определяется водным балансом (испарение, фильтрация, сток). Обозначим их индексами: И — испарение, Ф — фильтрация, С — сток. Тогда для каждого морфоэлемента можно написать некоторое неравенство, раскрывающее их соотношение. Логически таких неравенств может существовать девять:

$$\begin{array}{lll} \text{И} > \text{Ф} > \text{С} & \text{И} > \text{Ф} = \text{С} & \text{И} > \text{Ф} < \text{С} \\ \text{И} = \text{Ф} > \text{С} & \text{И} = \text{Ф} = \text{С} & \text{И} = \text{Ф} < \text{С} \\ \text{И} < \text{Ф} > \text{С} & \text{И} < \text{Ф} = \text{С} & \text{И} < \text{Ф} < \text{С}. \end{array}$$

Если анализировать только один конкретный вид функционирования рельефа, например стокоформирующий, то для каждого из морфоэлементов можно записать три неравенства нескольких иного типа, раскрывающие соотношение расходных статей водного баланса и подчеркивающих интенсивность стока. Их можно записать в виде

$$C > (I + \Phi); \quad C = (I + \Phi); \quad C < (I + \Phi).$$

Каждое из сочетаний неравенств первого и второго видов достаточно полно описывает характер выполняемых морфоэлементом функций.

Если рассматривать влияние рельефа на распределение тепла, то в качестве некоторого эталона полезно взять горизонтальную площадку в плакорных условиях. По сравнению с ней реальный морфоэлемент может «делать» местность более теплой или более холодной. Не исключено, что эти отношения могут изменяться в течение года. И если указанные характеристики в виде индексов расположить в последовательности сезонов (зима, весна, лето, осень), то конкретный индекс может иметь вид — ХНТТ — что можно прочесть следующим образом: по сравнению с плакором холоднее зимой, нейтрально весной, теплее летом и осенью. Поскольку здесь три возможных варианта сравнения с плакором (больше, равно, меньше) и четыре сезона, то число возможных сочетаний с учетом порядка будет равно $3^4 = 81$, т. е. может быть 81 индекс, описывающий функцию. Это очень много, но вероятнее всего на местности реализуются все логически возможные сочетания. При отсутствии информации придется ограничиться среднегодовыми характеристиками (три индекса).

По отношению к почвам рельеф также выполняет строго определенные функции. Если почвы каждого морфоэлемента сравнивать с почвами плакора, то все разнообразие влияний рельефа на ход почвообразования можно отмечать по характеристикам почвенных горизонтов А и В. Как известно, в горизонте А преимущественно идут процессы, связанные с преобразованием растительного опада в гумус (за исключением горизонта А₂ в подзолистых почвах; в последнем почвообразующие процессы затрагивают минеральную основу почвообразующего субстрата). В преобразовании опада можно выделить три главных процесса: оторфовывание, образование грубого гумуса, образование тонкого гумуса. В горизонте В в разных типах почв происходят засоление (в том числе и загипсовывание), окисление и ожелезнение. Каждый из них сопровождается сложным комплексом явлений. Это также позволяет составить соответствующие комбинации сочетаний. Их число не будет превосходить $2^4 = 16$.

И наконец, влияние рельефа на растительность (имеется в виду естественная, восстановленная растительность). Опираясь на правило, выведенное В. В. Алексиним о влиянии рельефа

(экспозиции склонов) на размещение растительности по отношению к плакорам, представляется, что рельеф местности может «сделать» местообитание растений более теплым или холодным, более влажным или более сухим. Тогда возможны четыре типа сочетаний индексов и четыре типа местообитаний: ТВ, ТС, ХВ, ХС (ТВ — тепло и влажно, ТС — тепло и сухо, ХВ — холодно и влажно, ХС — холодно и сухо). Эти изменения местообитаний раскрывают функции рельефа в морфобиофункциональном равновесии.

Если создать полные классификации и принять некоторую индексацию типов влияния рельефа на климат, поверхностные и подземные воды, почвы и растительность, то каждый из морфоэлементов может быть охарактеризован некоторым набором индексов, раскрывающих природные функции рельефа.

Например, возьмем простое сочетание, встречающееся на равнинах умеренного пояса: ровная поверхность, склон южной экспозиции и днище неглубоко врезанной балки. Тогда этот парагенезис будет характеризоваться следующими сочетаниями индексов.

1. Плакор — $I \geq \Phi > C$ (испарение не меньше фильтрации, а фильтрация больше стока) и $(I + \Phi) > C$; горизонтальная позиция данного элемента характеризуется нормальным количеством тепла, определяемым климатом территории, нормальным (зонально-секторным) типом почв и растительности.

2. Склон — $I > \Phi < C$ и $(I + \Phi) < C$ более теплый, чем плакор; почвы будут характеризоваться при отсутствии смыва большим количеством грубого гумуса (не будет хватать влаги для его преобразования), меньшей выраженностью иллювиального процесса; а местообитания будут теплые и сухие (ТС). Возможны и иные виды склонов.

3. Днище балки — $I < \Phi < C$ и $(I + \Phi) < C$; в балке может быть холоднее в одном случае и теплее в другом (зимой холоднее, а летом теплее), чем на плакоре; в почвенном покрове могут возникнуть процессы торфообразования и оглеения; для растительности это местообитание может оказаться или ТВ, или ХВ (по сравнению с плакором).

Естественно, для окончательного суждения о функциях рельефа одного лишь морфологического анализа недостаточно. Но он обязателен и является как бы базисом для последующего исследования.

7.2. ИСТОРИКО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЛЬЕФА

Происхождение и возраст рельефа во многом определяют морфологический его облик. Но есть, пожалуй, еще одна веская причина, чтобы выделить историко-генетический подход в самостоятельный раздел инженерно-геоморфологической работы. Происхождение связывает морфоэлемент с веществом, из

которого он создан в ходе процессов рельефообразования. Так, например, эоловые формы рельефа обычно создаются из песка, но существуют и лёссовые равнины эолового происхождения. Морены и связанные с ними формы ледникового рельефа в одном случае — это плохосортированные валунные суглинки, в другом — валунные песчано-глинистые отложения. И при переходе от одной формы рельефа к другой обычно обнаруживаются заметные изменения в физических свойствах субстрата. Не представляя исключения и денудационный рельеф. Иногда эти смены резкие, иногда образуются постепенные переходы.

Историко-генетический анализ позволяет определить взаимное расположение в пространстве форм рельефа различного происхождения и состава образующих эти формы горных пород. Рыхлые и литифицированные породы обладают определенными физико-химическими свойствами. В отдельных случаях они подчеркивают пространственный контраст в функциях рельефа двух смежных соседствующих морфоэлементов. В других сочетаниях этот контраст сглаживается. Например, если на дневную поверхность выходят рыхлые пористые отложения с высоким коэффициентом фильтрации, а морфоэлемент расположен на плакоре, то естественно, что доля испарения и стока в водном балансе упадет, но вырастет доля фильтрации. Если аналогичные породы выходят на поверхность в пределах склона или днища балки, то безусловно они и здесь понизят долю стока поверхностных вод в водном балансе. Наоборот, если на дневной поверхности окажутся суглинки с малыми значениями коэффициента фильтрации, то доля стока возрастает. Несомненно, это скажется в особенностях функционирования геоморфологической системы и в степени реализации тех функций, которые выполняет рельеф.

Не меньшее значение имеет и возраст рельефа. Так, современные и относительно молодые морфоэлементы выполняют свои функции в строгом соответствии с создавшими их процессами и их морфологическим обликом. Более древние формы в той или иной мере меняют свои функции, иногда даже коренным образом. Так, например, главная функция поймы — регулирование и перераспределение в пространстве и времени паводковых вод и взвешенных наносов. А речные террасы, в прошлом бывшие поймой, эти функции по существу утрачивают. Древние поверхности междуречий, как правило, прикрыты элювием, прошедшим длительную историю образования. Иногда это даже древние коры выветривания. Литологический состав древнего элювия, как правило, сильно отличается от элювия современного. Говоря об изменении функций отдельных морфоэлементов в зависимости от их возраста, следует обратить внимание на еще одну зависимость. Молодые морфоэлементы, как правило, служат ареной, на которой поселяется растительность и идут процессы зарождения зональных типов почв. Далее почвы и растительность проходят определенные стадии развития

или стадии сукцессий. При этом на каждой стадии они также выполняют строго определенные функции. Так, например, если мы встречаемся с двумя районами, где морфоэлементы принадлежат к одному и тому же типу, но один из них залесен, а другой нет, то естественно предположить, что эти морфоэлементы выполняют свои функции различным образом. Конечно, эти различия в проявлении функций полезнее было бы рассматривать в рамках не геоморфологического, а в системе инженерно-геоморфологического функционального анализа. Но представим себе, что на некотором элементе рельефа вырубает лес и распахивают или асфальтируют его поверхность, тогда элемент ПТК начинает функционировать преимущественно как элемент инженерно-геоморфологической системы с функциями, вытекающими из его геоморфологического положения.

Определенные функции выполняют не только отдельные морфоэлементы, но и их сочетания. Так, овражно-балочная сеть, состоящая из сочетания склонов и днищ, является не только путями стока поверхностных вод, в чем, конечно, заключается ее основная функция, но и представляет собой естественную дренаж, т. е. положение уровня грунтовых вод. Отсюда, засыпая овраги и балки в черте города, мы не только изменяем формы рельефа, но и их функции. Именно за этими функциональными изменениями часто следует цепочка непредвиденных последствий. Поскольку каждый морфоэлемент и их сочетания выполняют не одну, а несколько функций, то может случиться так, что, видоизменяя рельеф в нужном для технологии производства направлении, мы оптимизируем его по одной из функций, которые он выполняет, но не заботимся о судьбе других его функций. Так, в условиях Нечерноземья большой вред сельскому хозяйству наносит сильно расчлененный рельеф моренных и вторичных моренных равнин. Главные потери сельскохозяйственного производства, даже при разумном ведении хозяйства, здесь могут быть связаны с мелкоконтурностью пашни, наличием уклонов, в пределах которых активно протекают процессы эрозии почв. Наряду с этим имеются обширные заболоченные равнины. И, естественно, в наш век современной могучей техники может возникнуть желание создать более технологичный равнинный рельеф с искусственными почвами и растительностью. В принципе такая перепланировка возможна, но следует рассмотреть, является ли она геоморфологически целесообразной и рациональной точки зрения природопользования. Известно, что Нечерноземье располагается в зоне умеренных широт, где осадки превышают испарение и, стало быть, неизбежен поверхностный сток. В силу этого эрозионная долинно-балочная и овражная сеть представляет собой форму приспособления рельефа к климатическим и структурно-тектоническим условиям. А ледниковый рельеф — это реликт рельефообразования в условиях много прошлого климата. Казалось бы, что его можно уничтожить, не нанеся ущерба природе. Однако следует рассмотреть функции холми-

стого рельефа. И окажется, что его наличие в бассейне обеспечивает пестроту почвенно-растительного покрова. Исправляя рельеф, мы создадим в одних случаях условия, благоприятные для продвижения на север процессов остепнения. То есть в результате такой мелиорации рельефа станет теплее и суше. В другой конкретной ситуации, скажем в Прибалтике, может стать холоднее и более влажнее. И во втором варианте в результате изменения только рельефа могут сократиться площади угодий, которые в настоящее время выполняют функции естественных резервуаров или рефугиумов для некоторых видов растений и животных.

На любой территории, где идет интенсивное освоение ресурсов или функционируют территориальные комплексы определенного типа, воздействие на рельеф должно идти не случайно, а в соответствии с определенными сочетаниями типов природопользования. В ходе хозяйственной деятельности человек стремится оптимизировать структуру хозяйственных систем, руководствуясь экономическими принципами хозяйствования. Естественно думать, что в этом случае рельеф изменяется им в соответствии с нормативным подходом, основные положения которого анализировались в гл. 2. Отсюда кажется необходимым функциональный геоморфологический анализ несколько иного типа. В нем следует выявить, какие функции выполняет рельеф в хозяйственных системах. Вероятно, сочетание анализа двух видов функций — природной и хозяйственной — и их совместное рассмотрение смогут создать базу для получения критериев степени рациональности использования рельефа.

7.3. КОНЦЕПЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И РЕЛЬЕФ

В процессе производства человек неизбежно использует различные ресурсы для получения энергии, материалов и орудий производства. В сфере производства реализуется основное отношение человека к природе. Но существует и воспроизводственная сфера их отношений. Создавая определенные условия жизни, обеспечивающие восстановление рабочей силы, а также возможность существования человеческого общества, мы воздействуем на природу и в сфере рекреационной деятельности, и в сфере, обеспечивающей социальные запросы человека (культуры, науки, образования и др.). К непроеизводственной сфере относятся и военная деятельность.

Теперь, когда масштабы воздействия человека на природу Земли стали угрожающими, возникла природоохранная и природовосстановительная деятельность, которая, вероятно, также не входит в сферу производства. Если заниматься анализом функций рельефа при различных видах деятельности человека, то полезно выделять типы природопользования и их территориальных сочетаний. Именно отсюда становится возможным выделе-

ние и определенных функций рельефа, которые могут оказаться неодинаковыми в различных системах природопользования.

Сейчас принято выделять следующие типы природопользования: 1) сельскохозяйственное; 2) лесохозяйственное; 3) охотопромысловое; 4) энергодаточное; 5) горнопромысловое; 6) водоснабженческое; 7) коммунальное; 8) передаточно-транспортное; 9) спортивно-оздоровительное; 10) лечебно-курортологическое; 11) мемориально-культурное; 12) водоохранное; 13) заповедно-резервационное; 14) отходно-свалочное. Иногда их разделяют и более подробно. Нетрудно видеть, что все они в совокупности преследуют три основные цели: 1) обеспечение потребностей хозяйства в ресурсах; 2) охрана и воспроизводство среды обитания человека; 3) сохранение природы. По масштабам деятельности некоторые из видов природопользования охватывают обширные площади, другие имеют линейный характер, а третьи сосредоточены в точке. Неодинакова и их интенсивность преобразования природы, а стало быть, и нарушения функций, выполняемых рельефом. Так, сельскохозяйственное производство охватывает обширные площади и существенно изменяет функции отдельных морфоэлементов, но все же не столь сильно, как это можно наблюдать в породах.

Вполне понятно, что каждому виду природопользования можно поставить в соответствие и некоторый набор видов изменений природных функций рельефа. Анализируя территориальные аспекты размещения, сочетания и взаимного перекрытия отдельных видов природопользования, нетрудно видеть, что для каждого типа территориальных хозяйственных систем существует строго определенная возможность того или иного вида использования любого из существующих на этой территории элементов рельефа. Каждый из морфоэлементов в разных ситуациях может быть лесом, полем, поселком, дорогой и т. п. За каждым видом его хозяйственного использования лежит определенный набор нарушения природных функций.

Рационально использовать рельеф территории — это значит так разместить на ней необходимые виды и средства природопользования, чтобы минимизировать потери от нарушения природных функций рельефа с учетом его геоморфологического положения и оценки уровней влияния в близко- и дальнедействии взаимосопряженных элементов и рельефообразующих процессов. Отсюда однозначно вытекают и мероприятия по охране рельефа.

Исложенное составляет геоморфологическую концепцию в решении задач рационального природопользования и охраны природы. Несомненно, что это является частью и общей инженерно-геоморфологической концепции. Претворение ее в жизнь является одной из важнейших современных проблем геоморфологии.

8. МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Инженерно-геоморфологические исследования являются одной из разновидностей общегеоморфологических исследований. Общегеоморфологический анализ, как известно, направлен на выявление происхождения и истории развития рельефа. Его результат — карта, составленная на базе генетической, хронологической или морфогенетической основы принципов геоморфологического картографирования, и прилагаемая к ней объяснительная записка. Потребителями этой информации являются специалисты-геоморфологи или ученые другого профиля, знакомые с терминологией науки геоморфологии и обладающие навыком чтения геоморфологических карт. Потребитель инженерно-геоморфологической информации — это потребитель иного типа. Он, как правило, не владеет геоморфологическими знаниями. Такому специалисту, как правило строителю-проектировщику, нужна конкретная целенаправленная информация, преимущественно в количественном виде. При этом он стремится взять не всю информацию о рельефе, а лишь ту, которая может быть использована при проектировании сооружений, включая предупреждения о нежелательных геоморфологических последствиях. И наконец, самое главное требование проектировщика к геоморфологической информации — определенная степень достоверности. Лучше, если заключения делаются с оценкой ошибки и определенном вероятности наступления тех или иных событий. Этот количественный аспект и жесткие требования к достоверности полученных данных определяют специфику инженерно-геоморфологических исследований и определяют их отличие от общепринятых в геоморфологии.

Вместе тем стандартный геоморфологический анализ является базовым для всех прикладных исследований, и все заключения делаются в соответствии с принятыми в геоморфологии методами. Учет специфики инженерных подходов при одновременном соблюдении правил, принятых в геоморфологических работах, и создаст те особенности в методике инженерно-геоморфологических исследований, которые делают их самостоятельными. Их специфику можно проследить на всех этапах проведения анализа рельефа: в подготовительных работах, в сборе полевого материала и при составлении специализированного заключения. Сохраняя главные черты, свойственные общему исследованию рельефа, инженерно-геоморфологический ана-

лиз по форме проведения, регистрации и обработке данных должен приближаться к инженерному эксперименту.

С учетом сказанного все исследования рельефа в инженерных целях следует разделить на три этапа: 1) предварительный анализ проекта строительства и проектирование геоморфологических исследований; 2) основной этап исследований — полевые исследования; 3) заключительный этап — определение оценок и рекомендаций.

8.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При подготовительных работах важно провести предварительный (предполевой) анализ полученного задания. Он включает знакомство с проектом предполагаемого строительства и сбором картографических, литературных и архивных материалов по интересующей нас территории.

После изучения проекта строительства определяются перечень и конструкции типов сооружений: зданий, сооружений водоснабжения и канализации, транспортных объектов и др. На основании этого перечня производится отбор нормативных требований к рельефу, что и определяет пути создания геоморфологической оценки условий строительства и эксплуатации сооружений и их геоморфологических последствий (Симонов, Кружалин, 1989).

На основании проведенных предварительных проработок определяется набор морфометрических карт, которые следует построить для морфометрической оценки территории. Далее эти карты последовательно строятся или составляются. Очень важно, чтобы основной объем морфометрических работ был выполнен до начала полевых исследований. Для геоморфологической оценки условий строительства большинства типов сооружений базисными морфометрическими картами являются: типометрическая, уклонов склонов, глубины расчленения, густоты разнорядковых водотоков, структуры речных бассейнов. Они позволяют в дальнейшем построить карты сочетаний морфометрических комплексов и проводить инженерно-морфометрическое районирование. Для юсциальных расчетов необходим более полный набор морфометрических карт.

Литературные и архивные текстовые, картографические, графические и аналитические данные, а также результаты различных лабораторных и полевых испытаний и анализов, проведенных ранее другими исследователями на выбранной территории, собираются, учитывая, что по ним в дальнейшем будут составлены предварительные карты и профили: геологические, геоморфологические, гидрологические и др. Для составления этих карт и профилей необходимым окажется также дешифрирование аэрофотоматериалов и данных космических фотоснимков и

других видов дистанционной информации. Предварительно составленные карты и профили позволят оценить объем недостающей базовой геоморфологической и геологической информации, а в дальнейшем определить объем и характер необходимых полевых геоморфологических исследований. Кроме того, заблаговременно составленная геоморфологическая карта будет служить основой для выбора мест проложения и густоты маршрутов, объема необходимых и достаточных точек наблюдений, объема земляных работ, для выбора мест заложения профилей шурфов и скважин, а также профилей геофизического зондирования.

Нередко случается так, что заказчик не оставляет необходимого и достаточного времени для проведения подготовительных работ. В этом случае следует помнить, что сметная стоимость и общий объем работ могут быть получены лишь приблизительно, и необходимо предусмотреть возможность корректировки этих важных рабочих документов. Как правило, на практике так и происходит. Тогда морфометрические и картосоставительские работы можно сдвинуть и на полевой период, и даже на заключительный этап работ. Однако если исследования планируются как одногодичные, то неизбежна невосполнимая потеря информации. Вообще же следует стремиться к тому, чтобы подготовительный период и проектные работы были выполнены с максимальной полнотой.

8.3. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования следует разделить на три этапа: 1) рекогносцировка; 2) детальные полевые исследования; 3) корректировка полученных данных.

Даже тщательно проведенные подготовительные исследования не дают полного представления об изучаемом объекте. Уточнение первых представлений и получение «зрительного образа» изучаемой территории — вот главная цель рекогносцировки. В ходе ее определяются объем наземных работ, пути проложения маршрутов, выбор объектов для стационарного и полустационарного исследования, устанавливается разброс (степень несовпадения) индивидуальных (субъективных) оценок объектов исполнителями работ, если полевые исследования проводят независимо не один, а несколько исследователей, и коллективно уточняются критерии оценок рельефа: где можно, а где нецелесообразно вести строительство, определяются места будущих базовых лагерей и временных лагерных стоянок и др.

Детальные полевые геоморфологические исследования проводятся по существующим разработанным геоморфологическим методикам. Они включают в себя полевые маршруты с описанием точек наблюдения. Число точек наблюдений на каждом контуре должно быть необходимым и достаточным, что определяется с помощью стандартных статистических методов оценки

достоверности данных. Объекты с большой степенью изменчивости интересующих геоморфологов свойств рельефа должны быть охарактеризованы большим числом точек.

Если геоморфологическая карта была составлена предварительно в камеральных условиях, то полевыми исследованиями можно в начале работ обследовать лишь 10% объектов каждого выделенного типа, а затем при необходимости число некоторых контуров, обладающих большой изменчивостью интересующих нас свойств описываемого рельефа, может быть увеличено. Плотность и положение полевых маршрутов на местности определяются выбором объектов, намеченных к изучению.

К земляным работам, если предварительные карты были составлены до начала полевых работ, приступают сразу же после проведения рекогносцировки для того, чтобы использовать все погожие дни. При земляных работах ведется документация выработок, послойно описываются рыхлые отложения и отбираются образцы для проведения лабораторных исследований и проведения испытаний.

При необходимости земляные работы ведутся согласованно по геоморфологической, инженерно-геологической и гидрогеологической программам. Такой комплексный подход экономически выгоден и интересен с научной точки зрения, так как позволяет корректно провести сравнение результатов разнопрофильных наблюдений. Методика проведения инженерно-геологических и гидрогеологических исследований здесь опускается, и рекомендуется обращаться к соответствующим руководствам.

Геофизические исследования следует проводить после того, как будет выполнена хотя бы некоторая часть земляных работ.

Приступать к стационарным исследованиям следует сразу же после проведения рекогносцировки. Оборудование стационара занимает довольно много времени. Предварительные работы на стационаре сразу же за выбором объекта состоят: 1) из маркировки точек, линий, поверхностей, подлежащих наблюдениям; 2) создания базисной измерительной сети, закрепления ее на местности и топографической привязки; 3) выработки мер против намеренных и случайных повреждений меток, подлежащих наблюдению; 4) организации систематических наблюдений и обработки полученных данных. В отдельных случаях, когда наблюдения ведутся разными приборами, разными людьми и в различное время, необходимо метрологическое обеспечение используемых приборов.

Итогом полевых исследований являются откорректированные карты, отдешифрованные аэрофотоснимки, журналы описаний полевых точек наблюдения, описания земляных выработок, каталог образцов, отобранных для лабораторных исследований и испытаний. Если полевые исследования проводятся в течение нескольких лет, то составляются план работ последующих лет и план обработки собранного полевого материала. Следующие за полевыми сезонами камеральных работ, если исследования

носят многолетний характер, используются для обработки собранных материалов, создания промежуточных карт и профилей, написания текстов вспомогательных разделов.

Все материалы готовятся в таком виде, чтобы заказчик этих работ имел возможность воспользоваться промежуточными результатами исследования. Это особенно полезно, когда проектирование строительства и его геоморфологическое обоснование проводятся одновременно.

8.4. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ КАМЕРАЛЬНЫЙ ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ

После проведения всего комплекса намеченных работ готовится основное заключение геоморфолога, в котором должны быть даны: 1) характеристика рельефа; 2) заключение о целесообразности строительства; 3) заключение о возможных последствиях; 4) общие рекомендации по выбору средств защиты сооружений и минимизации вероятности проявления нежелательных последствий.

К итоговым документам могут быть предъявлены требования двух видов: 1) требования к базовым геоморфологическим материалам; 2) требования к инженерной части заключения.

Первые требования идут от традиций геоморфологии. Нередко рецензентами составленных в результате работ заключений выступают геоморфологи, по профилю своей основной деятельности весьма далекие от инженерного дела, но хорошо осведомленные в геоморфологических концепциях и методах геоморфологических исследований. Для них кажется обязательной наличие кондиционной геоморфологической карты, составленной и проанализированной по всем требованиям современной науки. Второй вид требований предъявляет инженерная практика. Как правило, инженерам не нужна исходная геоморфологическая карта. К ней они обращаются весьма редко и, главным образом в тех спорных случаях, когда геоморфологическая оценка не совпадает с их собственными решениями о возможности строительства, когда эта оценка, по их мнению, «отягощает проект». Но они особенно заинтересованы в оценочных картах и требуют строгого их обоснования.

В силу этого полезно и сам отчет и заключение логически разделить как бы на две части. Одну из них выделить для внутреннего (геоморфологического) пользования, а другую сделать собственно для заказчика. В этой второй части должны быть четыре важных раздела: 1) морфометрическая оценка рельефа; 2) индикация свойств рыхлых и скальных пород как фундаментов; 3) индикация геодинамической ситуации; 4) геоморфологическое заключение об условиях строительства и эксплуатации сооружений, а также рекомендации по защите сооружений от геоморфологических явлений и минимизации нежелательных последствий.

8.5. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

В геоморфологическом картографировании в настоящее время, как известно, используются четыре основных подхода или четыре типа построения системы условных обозначений. Это морфологический (или физиономический), историко-геоморфологический, генетический и морфоисторико-генетический типы построения. Последний тип чаще называется морфогенетическим. Соответственно составляются четыре основных типа геоморфологических карт. Каждый из типов имеет свои особенности, свои положительные черты и недостатки. Но в принципе на любую из территорий можно составить четыре не похожие друг на друга геоморфологические карты. В практическом исполнении многообразие легенд не ограничивается четырьмя указанными типами. И любой исследователь, комбинируя различные подходы, часто создает неповторимый тип карты, нередко напоминающий скорее некоторый вид искусства, чем научно обоснованный тип построения систем условных обозначений.

Для целей инженерно-геоморфологической оценки территории общие геоморфологические карты составляются лишь в процессе изучения территории для обоснования соответствующих оценок. Заказчика же, как уже об этом говорилось выше, интересует лишь некоторая часть информации о рельефе. Поэтому в практике инженерно-геоморфологических работ составляют не общие, а специальные геоморфологические карты. Их особенностью является то, что из всех характеристик рельефа выбираются лишь те, которые прямо приводят к получению цифр для соответствующих разделов проекта или являются обоснованием для суждения эксперта о целесообразности или невозможности строительства. Все карты обычно разделяются на два типа: аналитические и синтетические.

К первому типу относятся морфометрические, некоторые общие геоморфологические, геологические, гидрогеологические карты. Главной отличительной их чертой является то, что потребитель картографической продукции, в нашем случае инженер-проектировщик, может, не прибегая к помощи специалиста-геоморфолога для каждой точки осваиваемой территории, получить интересующие его характеристики: абсолютную высоту (гипсометрическая карта), угол наклона склона (карта углов наклона), тип грунтов в предполагаемом основании фундамента (карта типов грунтов на глубине основания фундаментов), глубину залегания подземных вод (одна из гидрогеологических карт) и др.

Синтетические карты предлагают другую информацию и могут быть различных типов. Обычно это карты по районированию территории. На них выделяются однородные по некоторым признакам территории, но не по одному, а по сочетаниям благоприятных и неблагоприятных признаков. Например, выделяются

территории по различной степени необходимой подготовки ее перед началом строительства или требующие различных ее видов, включая создание защитных сооружений от катастрофических природных явлений, предупреждающих развитие нежелательных последствий, и др. Синтетические карты очень часто являются результатом специального картографического анализа аналитических карт.

Инженерно-геоморфологическое картографирование еще делает свои первые шаги, и предстоит накопить опыт составления этих специальных карт. Первые обобщения в этой области сделаны А. Т. Леваднюком (1983) и Ю. Г. Симоновым (1977).

Одной из главных особенностей инженерно-геоморфологических карт является то, что они адресованы проектировщику-пользователю определенного типа с повышенным требованием к количественному анализу, объективности и достоверности предлагаемых рекомендаций. Как правило, проектировщики не владеют ни терминологией, ни методами геоморфологического доказательства. То, что кажется специалисту-геоморфологу само собой разумеющимся, не требующим доказательства, для инженера-проектировщика или инженера-строителя, архитектора требует пояснений. Например, если на геоморфологической карте показана пойма, то любой геоморфолог поймет, что эта территория затопливается: низкая пойма затопливается чаще, высокая — реже. Для инженера же важнее сказать, не просто, что это пойма, а выделить на ней территории с различной вероятностью затопления.

Поэтому геоморфолог, составляющий специальные карты для инженерной оценки территории, должен позаботиться о том, чтобы его информация была правильно понята и использована. Он должен уметь переводить нужную информацию с «геоморфологического языка» на чисто «инженерный». Только после этого можно будет говорить об эффективности инженерно-геоморфологических исследований.

9. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Районирование — это метод членения исследуемой территории (акватории) на такие таксоны, которые отвечали бы как минимум двум критериям: критерию специфики выделяемых территориальных ячеек и критерию взаимосвязанности насыщающих их элементов. Районирование определяется постановкой цели и может осуществляться для выявления объективно существующих районов, в том числе и для целей управления. Принято различать частное районирование, основанное на учете лишь отдельных элементов территории, и общее районирование, основанное на комплексном, или интегральном, подходе. Результатом районирования является сетка районов, которая отражает объективную иерархичность пространственных систем. При этом как районы одного уровня, так и иерархическая цепочка районов разных уровней должны отвечать заранее заданным типологическим и классификационным характеристикам.

Инженерно-геоморфологическое районирование можно рассматривать как специальный вид геоморфологического районирования. В этой связи целесообразно рассмотреть основные принципы геоморфологического районирования, которое неоднократно проводилось разными исследователями и рассмотрено в учебном пособии «Геоморфологическое районирование СССР» (1980)

Геоморфологическое районирование, как и другие виды физико-географического районирования, позволяет логично представить закономерности строения, развития и пространственного размещения рельефа Земли. Районирование не только систематизирует имеющиеся знания о рельефе, но и необходимо для решения ряда практических задач в области рационального использования природных ресурсов (например, поисков и прогнозирования месторождений полезных ископаемых), для инженерно-строительных целей в связи с рациональной организацией территории.

В приведенном геоморфологическом районировании самыми высокими таксономическими единицами являются материки и океаны (впадины океанов), которые последовательно делятся на геоморфологические зоны, страны, провинции, области и районы. Такое деление при районировании основано на комплексе принципов, в соответствии с которыми территория нашей страны и прилегающих морей разделена на 901 район, входя-

щий в 243 области, которые в свою очередь сгруппированы в 64 геоморфологические провинции, составляющие в совокупности 21 геоморфологическую страну, которые входят в 5 геоморфологических зон. Как показывает практика геоморфологического районирования, наибольшую сложность вызывает выдерживание критериев выделения геоморфологических районов, степень разнообразия которых в горах и на равнинах не эквивалентна.

Говоря о районировании, следует сказать о типологическом и региональном подходах. Типологическое районирование предусматривает выявление и выделение определенных типов территориальных единиц того или иного порядка на основе учета общих (для каждого таксономического уровня районов) существенных признаков, свойственных им, и отказа от учета многих частных их особенностей. При этом характеристика дается не каждому конкретному контуру, выделенному на карте, а группе контуров данного типа. Региональный вид районирования основан на выделении территориальных единиц, каждая из которых характеризуется ясно выраженной индивидуальностью и получает персональную характеристику, т. е. любой район выделяется, исходя из тех свойств, которые не повторяются в смежных районах. Типологическое выделение районов ориентировано, таким образом, на сходство, а региональный — на различие признаков.

Инженерно-геоморфологическое районирование должно опираться на комплекс специальных инженерно-геоморфологических карт, которые позволяют оценить геоморфологическую обстановку строительства и эксплуатации инженерных объектов. Имеющийся опыт создания таких карт говорит о том, что их содержание не может быть единым, поскольку оно определяется видами инженерно-строительной деятельности и должно основываться на особенностях морфоклиматической зональности (Леваднюк, 1983).

Таким образом, существует еще один подход при проведении инженерно-геоморфологического районирования, основанный на оценке ведущих экзогенных геоморфологических процессов в той или иной морфоклиматической зоне (гумидной, аридной и т. д.). Этот подход также имеет право на существование, и он показал свою практическую значимость при проведении инженерно-геоморфологического анализа равнинных территорий.

Известное развитие получило специальное инженерно-геоморфологическое районирование по набору определенных признаков. В качестве примера можно привести типологию долин главных рек Сибири для целей гидроэнергетического строительства (Коржуев, 1977). В основу схемы инженерно-геоморфологического районирования были положены признаки, определяющие надежность размещения гидротехнических сооружений и условия производства строительных работ; морфология долин; состав и мощность кайнозойских отложений; геологическое

строение и характеристика свойств пород как основания бетонных и земляных сооружений; мерзлотные условия и интенсивность современных рельефообразующих процессов; сейсмическая активность; наличие месторождений строительных материалов; условия создания водохранилищ; полезные ископаемые; хозяйственно ценные земли зоны затопления. Исходя из этих признаков, территория Сибири разделена на шесть областей, в пределах которых можно выделить районы и подрайоны.

Таким образом, инженерно-геоморфологическое районирование должно выполняться по определенным принципам на основе выбранных классификационных признаков. Принципы — это те важнейшие логические правила, методологические подходы и методические положения, которые необходимо соблюдать при проведении любого типа или вида районирования. Классификационные признаки — это те выбранные и обоснованные исследователями характеристики рельефа, на основе которых происходит деление территории при региональном районировании или типизации территориальных единиц определенного ранга при типологическом районировании.

Анализ имеющихся предложений по вопросам районирования в дисциплинах геолого-географического цикла показал, что основные принципы наиболее полно сформулированы в многочисленных схемах физико-географического, а также инженерно-геологического районирования.

Поскольку инженерная геоморфология как пограничная дисциплина тесно соприкасается с инженерной геологией, целесообразно привести основные принципы инженерно-геологического районирования, которые наиболее полно изложены в книге «Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы» (1985).

1. Районирование должно проводиться по вещественно-морфологическим глубоко инженерно-геологическим признакам, отражающим важнейшие закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий, обусловленных взаимодействием региональных и зональных геологических факторов.

2. Сумма выделенных при районировании территориальных единиц должна быть равна объему (площади) делимой территории при региональном виде районирования или объему классифицируемого (делимого) понятия в случае типологического и очечного районирования.

3. При районировании должно соблюдаться требование соразмерности — территориальные комплексы, выделяемые на определенной ступени районирования, должны относиться к одному порядку (рангу). Несоблюдение этого положения, выделение элементов, принадлежащих к разным порядкам, и последующие сопоставления их друг с другом (например, при оценке сложности условий) могут привести к смещению понятий.

4. Признаки, по которым проводится деление территории (или классифицируются территориальные единицы), должны выбираться так, чтобы каждая точка (территориальная единица) попадала только в одну из выделяемых категорий.

5. В пределах одной (любой) таксономической единицы все границы единиц следующего более высокого ранга должны проводиться по признакам одного порядка (должно использоваться одно основание деления по принятой в логике терминологии). Классификационный признак может изменяться от одной ступени районирования к другой.

6. Каждая группа между выделяемыми таксономическими единицами должна проводиться по вполне определенному (в идеале — одному) классификационному признаку.

Эти принципы могут быть положены и в основу инженерно-геоморфологического районирования. На картах специального инженерно-геологического районирования территориальные единицы обособляются и оцениваются с учетом определенного вида строительства (транспортного, гидротехнического и т. п.).

Под инженерно-геоморфологическим районированием следует понимать выделение системы территориальных элементов разного ранга, характеризующихся внутренним сходством и внешними различиями инженерно-геоморфологических условий, и описание этих систем.

Очевидно, что пространственная организация территории зависит не только от природных условий. Географическая оболочка Земли имеет пространственную структуру, в пределах которой природным образованиям, а также антропогенным их модификациям свойственно закономерное пространственное размещение, обусловленное природными особенностями территории, технологией производства и длительностью ее освоения. Это вызывает необходимость при инженерном освоении территории использовать не только природное, но и хозяйственное районирование территории. При этом в опытах экономического и экономико-географического районирования природа выступает в виде ресурсного фона.

Исторический опыт показывает, что освоение территории в инженерном отношении подчиняется не столько природным закономерностям, сколько политическим и социально-экономическим, хотя на ранних пионерных этапах освоение любой территории базировалось прежде всего на собственно природных ресурсах. Уровень социально-экономического развития той или иной территории определяет с точки зрения инженерной геоморфологии интенсивность влияния хозяйственной деятельности человека на ход естественных экзогенных процессов. Степень техногенного (антропогенного) воздействия в ряде регионов настолько высока, что в рамках инженерной геоморфологии зарождаются предложения о выделении геоморфологической среды как естественно-социальной системы, развивающейся на основе взаимодействия природных и антропогенных рельефообразующих сил.

При этом возникает вопрос о выделении нового направления в геоморфологии — социально-экономической геоморфологии.

Современное развитие нашего общества предполагает большую социально-экономическую самостоятельность не только автономных республик, но и краев, областей и районов. При предоставлении местным советам полномочий реального децентрализованного управления открываются возможности для более гармоничного социально-экономического развития различных территорий. Это, несомненно, должно найти отражение и в проведении научных исследований, призванных максимально обеспечивать запросы и потребности общества.

Все это позволяет предположить еще один подход в инженерно-геоморфологическом районировании, основанный на критерии географического положения. Географическое положение — это положение одного географического объекта по отношению к другим географическим объектам, с которыми он находится во взаимодействии. Его следует рассматривать как важную характеристику, дающую представление о природных и социально-экономических условиях и особенностях места их локализации. Географическое положение — это характеристика территорий, меняющаяся по мере изменения различных свойств географического объекта и его взаимосвязей с другими объектами в явлениями, а также целей, для которых оно оценивается. Очевидно, что географическое положение может меняться в ходе истории, изменения естественных объектов, а также в ходе меняющихся социально-экономических условий.

Например, территория Подмосковья меняла свое географическое положение в ходе возникновения, активизации и деградации оледенения. В зависимости от положения края ледника она становилась то объектом прямого влияния ледника и ледниковых вод, то испытывала его присутствие косвенно через похолодание и потепление климата. Таким образом, географическое положение определяет функции территории в связи с какими-то пространственно совпадающими, сопряженными, а иногда и удаленными явлениями или событиями. Аналогично влияние и социально-экономических условий. Географическое положение Подмосковья связано с историей его становления как столичного региона. Сначала бурное экономическое развитие Подмосковья получило благодаря своему транспортно-географическому положению, располагаясь на торговых путях из Прибалтики в бассейн Оки и Волги. Затем, когда столицей государства Российской стала Москва, Подмосковье надолго приобрело функции столичного региона, которые были утрачены на некоторое время в связи с переносом столицы в Петербург, и возвратились они только после Октябрьской революции.

Социально- и экономико-географическое положение определяет вид, направление и интенсивность хозяйственного освоения территории. Естественно, реализуется это и в типе инженерного освоения территории. Поэтому инженер-геоморфолог, проводя

районирование, должен учитывать и особенности социально- и экономико-географического положения территорий. Это позволит увидеть еще одну важную цель работ. Проведенное с учетом не только наличия сходства и различия определенных черт рельефа, но и географического положения, инженерно-геоморфологическое районирование будет иметь и прогнозное значение. В нем в неявной форме будут учтены те возможные виды освоения территории, под которые потребуется инженерное обеспечение и, стало быть, возникнет необходимость в проведении строго определенных инженерно-геоморфологических оценок территории.

И если такие цели перед геоморфологами ставить, то при проведении геоморфологических исследований должны быть установлены специальные социально-геоморфологические оценки территорий. Их теоретическое обоснование — одна из ближайших задач геоморфологии. Концепция создания таких оценок будет одновременно служить и теоретической базой инженерной геоморфологии.

ЛИТЕРАТУРА

- Брылов С. А., Грабчак Л. Г. и др. Охрана окружающей среды. М.: Высшая школа, 1985. 272 с.
- Викторов С. В. Ландшафтные индикаторы гидрологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. М., 1976. 55 с.
- Волчанская И. К., Саложникова Е. Н. Морфоструктурный метод изучения горных областей//Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. 1969. № 3. С. 62—67.
- Воскресенский С. С. Динамическая геоморфология. М., 1971. 228 с.
- Востокова Е. А. Антропогенные изменения гидрологических условий по ландшафтно-индикационным данным//Биогеографические и индикационные исследования. М., 1977. С. 47—50.
- Географический энциклопедический словарь. М., 1988. 431 с.
- Герасимов И. П. Опыт геоморфологической интерпретации общей схемы геологического строения СССР//Проблемы физической географии. 1946. № 13. С. 15—25.
- Герасимов И. П. Советская конструктивная география. М., 1976. 207 с.
- Горшков С. П. Экзодинамические процессы освоения территорий. М., 1982. 286 с.
- Гудилин И. С. Использование космических фотоснимков при инженерно-геологическом и гидрологическом картировании//Использование информации, получаемой из космоса, для решения геологических задач. М., 1976. С. 47—49.
- Гуменский Б. М., Новожилов Г. Ф. Тиксотропия грунтов и ее учет при строительстве автомобильных дорог и мостов. М., 1961. 108 с.
- Гольдштейн М. Н. Инженерная геология (основы геотехники). Л.—М., 1941. 432 с.
- Геоморфологическое районирование СССР. М., 1980. 343 с.
- Девдариани А. С. Антропогенные формы рельефа//Вопросы географии. М., 1954. № 36. С. 117—120.
- Демек Я. И. Теория систем и изучение ландшафта. М., 1977. 222 с.
- Денисов Н. Я. Строительные свойства лесов и лесовидных суглинков. М., 1953. 155 с.
- Джарард А. Дж. Почвы и формы рельефа. М., 1984. 208 с.
- Добровольский В. В. Гипергенез четвертичного периода. М., 1966. 238 с.
- Заруба К., Менцел В. Инженерная геология. М., 1979. 468 с.
- Звонкова Т. В. Прикладная геоморфология. М., 1970. 271 с.
- Исаченко А. Г. О конструктивной географии//Изв. ВГО. Т. 114, вып. 4. М., 1982. С. 322—328.
- Каплина Т. Н. Криогенные склоновые процессы. М., 1965. 257 с.
- Комаров И. С. Задачи региональной инженерной геологии в современный период и некоторые вопросы инженерно-геологического картирования//Изв. вузов. Геология и разведка. 1966. № 10. С. 70—77.
- Коржув С. С. Геоморфология речных долин и гидроэнергетическое строительство. М., 1977. 174 с.
- Котлов Ф. В. Антропогенные геологические рельефообразующие про-

цессы и их явления//Современные экзогенные процессы рельефообразования. М., 1970. С. 37—47.

Котлов Ф. В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории городов. М., 1977. 169 с.

Леваднюк А. Т. Инженерно-геоморфологический анализ равнинных территорий. Кишинев, 1983. 254 с.

Леонтьев О. К., Рычагов Г. И. Общая геоморфология. М., 1988. 318 с.

Лиханов Б. Н. Географическое изучение рекреационных ресурсов СССР и путей их использования//Итоги науки и техники. Сер. география СССР. 1973. Т. 9. С. 113.

Лукашов А. А., Ларьков С. А. Структурно-геоморфологические исследования в связи с размещением объектов шахтного строительства// Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. 1984. № 4. С. 56—63.

Лукашов В. К. Геологические аспекты охраны окружающей среды. Минск, 1987. 334 с.

Лучицкий В. И. Петрография. М.-Л., 1949. Т. 2. 436 с.

Лютцау С. И., Сафьянов Г. А. Инженерно-геоморфологические исследования в долинах рек и на берегах морей. М., 1983. 124 с.

Максимов С. Н. Инженерные сооружения. М., 1974. 302 с.

Маслов Н. И. Инженерная геология (основы геотехники). М.: Госстройиздат, 1941. 432 с.

Мильков Ф. Н. Антропогенная геоморфология//Науч. зап. Воронеж. фил. ВГО. 1974. С. 3—9.

Молодкин П. Ф. О классификации антропогенного рельефа//Географические исследования на Северном Кавказе и Нижнем Дону. Ростов н/Д, 1973. С. 113—114.

Молодкин П. Ф. Опыт классификации антропогенных рельефообразующих процессов в бассейне Нижн. Дона и Восточном Донбассе//ВГО. 1975. № 2. С. 116—120.

Молодкин П. Ф. Антропогенный морфогенез степных равнин. Ростов н/Д. 1976. 85 с.

Оползни и сели. М., 1984. Т. 1. 350 с.

Орлова А. В. Палеомагматические построения и анализ блоковых структур. М., 1968. 71 с.

Палиненко Э. Т. Поисковая и инженерная геоморфология. Киев, 1978. 197 с.

Перельман А. И. Современные геохимические представления о зоне гипергенеза//Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. М., 1985. С. 233—268.

Пиотровский М. В. Вопросы классификации морфоструктур в связи с задачами морфоструктурного картирования//Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. Чита, 1968. Вып. 3. С. 51—82.

Полынов Б. В. Географические работы. М., 1952. 400 с.

Преображенский В. Р., Введенн Ю. А. География и отдых. М., 1971. 48 с.

Приклонский В. А. Грунтоведение. М., 1955. 370 с.

Проблемы инженерной географии//Всесоюз. конферен. АИ СССР. Тез. докл. М., 1987. 253 с.

Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород. М.-Л., 1940. Т. I. 476 с.

Ревзон А. Л. Методика анализа материалов аэрофотосъемки для оценки современной активности карстовых и оползневых процессов//Геоморфология. 1975. № 3. С. 36—42.

Ревзон А. Л. Индикационная роль карстовых форм при геоморфологическом дешифрировании//Землеведение. Нов. сер. М., 1976. Т. II (1). С. 209—213.

Ревзон А. Л. Особенности индикационного анализа при дешифрировании разномасштабных космофотоснимков для целей гидрологии и инженерной геологии//Биогеографические и индикационные исследования. М., 1977. С. 58—59.

Ревзон А. Л. Космофотондикационный анализ пространственной локализации экзогенных процессов//Изв. ВГО. 1984. Т. 116, вып. 2. С. 134—137.

Розанов Л. Л. Геотехноморфогенные основы познания современного рельефообразования//Современное экзогенное рельефообразование, его изучение и прогноз. М., 1984. С. 6—32.

Розанов Л. Л. Интегральная геотехноморфология//Изв. ВГО. Л., 1985. Т. 117, вып. 4. С. 311—320.

Романовский С. М. Седиментологические основы литологии. Л., 1977. 407 с.

Русанов Б. С. Гидротермические движения земной поверхности. Магадан, 1961. 225 с.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. М., 1929. 488 с.

Садов А. В. Типологическая классификация ландшафтов для целей инженерно-геологического дешифрирования материалов аэрофотосъемки//Скоростные методы исследований при инженерно-геологических съемках. М., 1969. С. 129—143.

Садов А. В. Проблемы распознавания в инженерно-геологическом дешифрировании аэроснимков//Аэрометоды исследований. Моск. фил. ВГО СССР. М., 1972. С. 22—26.

Садов А. В. Основные задачи и методы гидрологических и инженерно-геологических исследований на Устьюрском космогеологическом полигоне//Биогеографические и индикационные исследования. М.: Моск. фил. ВГО. 1977. С. 56—57.

Садов А. В., Ревзон А. Л. Аэрокосмические методы в гидрологии и инженерной геологии. М., 1979. 223 с.

Сварчевская З. А., Лутовинов И. Л. Техногенный морфогенез//Климат, рельеф и деятельность человека. М., 1981. С. 29—34.

Сергеев Е. М. и др. Грунтоведение. М., 1971. 594 с.

Сидоренко А. В. Геоморфология и народное хозяйство//Вопросы практической геоморфологии//Геоморфология. 1970. № 1. С. 3—8.

Симонов Ю. Г. Инженерная геоморфология. Основные задачи и пути развития//Вопросы географии. М., 1979. № 111. С. 14—21.

Симонов Ю. Г. Основные черты морфотектоники Восточного Забайкалья//Изв. Забайкальск. фил. ВГО. Чита, 1966. Т. 2, вып. 2.

Симонов Ю. Г. Региональный геоморфологический анализ. М., 1972. 365 с.

Симонов Ю. Г. Геоморфологическое картирование при инженерных изысканиях//Геоморфологическое картирование. М., 1977. С. 359—365.

Симонов Ю. Г. Проблемы регионального географического прогноза. М., 1982. 281 с.

Симонов Ю. Г., Кружалин В. И. Инженерная геоморфология. Основание для инженерной оценки рельефа. М., 1989. 100 с.

Симонов Ю. Г., Кружалин В. И. Инженерная геоморфология. Индикационный анализ и методы исследования. М., 1990. 122 с.

Спирidonov А. И. Опыт генетической систематики рельефа//Землеведение. Нов. сср. 1967. Т. VII. С. 33—53.

Справочник физико-химических констант горных пород/Под ред. С. Кларка. М., 1969. 542 с.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М., 1962. Т. I. 212 с.

Судакова Н. Г., Воскресенская Т. П., Немцова Г. М. Руководство по изучению новейших отложений. М., 1987. С. 57—60.

Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М., 1985. 331 с.

Ферсман Е. Н. Избранные труды. М., 1953. Т. 2. 768 с.

Хабаков А. В. Инструкции по изучению конгломератов. М., 1933. 108 с.

Хромов С. П. Метеорология и климатология. Л., 1968. С. 491.

Худяков Г. И. Геоморфотектоника юга Дальнего Востока. М., 1977. 254 с.

Шапцев Б. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М., 1966. 239 с.

Шерман С. И. Физические закономерности разломов земной коры. Новосибирск, 1977. 241 с.

Шульгин А. М. Мелиоративная география. М., 1980. 214 с.

Черноморец С. С. Опыт классификация антропогенного рельефа// Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. 1987. 99 с.

Эдельштейн К. К. Комплексные исследования водохранилищ. М., 1980. Вып. 6. 232 с.

Экология и эстетика ландшафтов/Под ред. Эригиса. Мянчис, 1975. 251 с.

Тишков Х. Методы на анализ и оценка на рекреационите ресурси. София, 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
1. Введение	9
1.1. Место инженерной геоморфологии в системе фундаментальных и прикладных наук о Зсмле	9
1.2. Современное состояние и научная концепция инженерной геоморфологии	10
1.3. Современные проблемы инженерной геоморфологии	15
2. Функционально-технологический (нормативный) подход к инженерной оценке рельефа	19
2.1. Основания для выбора оценок	19
2.2. Главные стратегии в использовании рельефа	20
2.3. Анализ рельефа при нормативно-технологическом подходе в его оценке	25
2.3.1. Одиночное здание и рельеф строительной площадки	26
2.3.2. Устройство сооружений водоснабжения и рельеф	28
2.3.3. Канализационные сооружения и рельеф	31
2.3.4. Транспортные средства и рельеф	35
2.3.5. Рельеф территории и выбор строительных площадок для промышленных предприятий	42
2.3.6. Рельеф территории и выбор площадок при строительстве городов и других населенных пунктов	44
2.3.7. Рельеф и малая гидроэнергетика	47
2.3.8. Рельеф и ветроэнергетика	53
2.3.9. Рельеф и мелиорация	54
2.3.10. Рельеф и рекреация	60
2.3.11. Рельеф и рекультивация нарушенных земель	64
3. Индикационный подход в инженерной геоморфологии	68
4. Рельеф и свойства горных пород	74
4.1. Рельеф и образование рыхлых отложений	74
4.2. Состав пород терригенно-питающих провинций и рельеф	78
4.3. Рельеф и рыхлые отложения	84
4.3.1. Гранулометрический состав рыхлых отложений и рельеф	86
4.3.2. Минералогический и химический составы рыхлых отложений	92
4.3.3. Структура и текстура рыхлых отложений и рельеф	99
4.3.4. Пористость и трещиноватость рыхлых отложений	101
4.3.5. Гидрофильные свойства рыхлых отложений	104
4.3.6. Теплофизические свойства пород различного происхождения	114
4.3.7. Физико-механические свойства пород различного состава	117
4.3.8. Возможность геоморфологической индикации свойств пород при проектировании строительства	129
5. Оценка динамики рельефа в инженерно-геоморфологических целях	131
5.1. Основные аспекты инженерно-геоморфологической оценки динамики рельефа	131
5.2. Рельеф и геологическая структура	134
5.3. Рельеф и эндогенные процессы	136
5.4. Рельеф и экзогенные процессы	139
	205

5.4.1. Рельеф и склоновые процессы	139
5.4.2. Рельеф и флювиальные процессы	145
5.5. Рельеф и катастрофические процессы	147
5.6. Рельеф и геоморфологические системы	153
5.7. Рельеф и геоморфологический прогноз	156
6. Антропогенный рельеф и его значение в инженерно-геоморфологическом анализе	161
6.1. Рельеф и ландшафт	161
6.2. Антропогенное рельефообразование и его влияние на ландшафт	174
7. Функциональный анализ рельефа и рациональное природопользование	179
7.1. Функции элементов рельефа и их комплексов	180
7.2. Историко-генетические аспекты функционального анализа рельефа	183
7.3. Концепция рационального природопользования и рельеф	186
8. Методы инженерно-геоморфологического анализа и геоморфологическое картографирование	188
8.1. Общие положения	188
8.2. Предварительный анализ проекта строительства и проектирование геоморфологических исследований	189
8.3. Полевые исследования	190
8.4. Заключительный камеральный этап исследования	192
8.5. Особенности инженерно-геоморфологического картографирования	193
9. Основные принципы инженерно-геоморфологического районирования	195
<i>Литература</i>	201

CONTENTS

<i>Preface</i>	3
1. Introduction	9
1.1. The place of the engineering geography in the system of fundamental and applied earth sciences	9
1.2. The present state and scientific concept of the engineering geomorphology	10
1.3. The modern problems of the engineering geomorphology	15
2. The functional and technological (normative) approach to the engineering estimation of the relief	19
2.1. The basis for estimation choose	19
2.2. The main strategy in the relief use	20
2.3. The relief analysis within the normative-technological approach for its estimation	25
2.3.1. The separate building and the site relief	26
2.3.2. The water supply constructions and the relief	28
2.3.3. Sewage and the relief	31
2.3.4. Transport and the relief	35
2.3.5. The relief and the site choose for the industrial construction	42
2.3.6. The relief and the site choose for urban and other inhabited localities construction	44
2.3.7. The relief and small hydroenergetics	47
2.3.8. The relief and the wind energetics	53
2.3.9. The relief and the melioration	54
2.3.10. The relief and the recreation	60
2.3.11. The relief and the recultivation	64
3. The indicative approach in the engineering geomorphology	68
4. The relief and the rock properties	74
4.1. The relief and the sediments formation	74
4.2. The rock composition of the terrestrial supplying provinces and the relief	78
4.3. The relief and the sediments	84
4.3.1. The granulometric composition of the sediments and the relief	86
4.3.2. The mineralogical and chemical composition of sediments	92
4.3.3. The structure an texture of sediments	99
4.3.4. The porosity and fractureness of the sediments	101
4.3.5. Hydrophillous properties of the sediments	104
4.3.6. The heat and physical properties of the rocks of different origin	114
4.3.7. The physical and mechanical properties of the rocks of different origin	117
4.3.8. The possibility for geomorphological indication of the rock properties important for construction planning	129
5. The relief dynamics estimation for engineering and geomorphological purposes	131
5.1. The main aspects of engineering-geomorphological estimation of the relief dynamics	131
5.2. The relief and the geological structure	134

5.3. The relief and the endogenic processes	136
5.4. The relief and the exogenic processes	139
5.4.1. The relief and the slope processes	139
5.4.2. The relief and the fluvial processes	145
5.5. The relief and the catastrophically processes	147
5.6. The relief and the geomorphological systems	153
5.7. The relief and the geomorphological forecast	156
6. Anthropogenic relief and its significance for the engineering-geomorphological analysis	160
6.1. The relief and the landscape	161
6.2. Anthropogenic relief formation and its influence on landscapes	174
7. The functional relief analysis and rational land use	179
7.1. The relief elements and their complex functions	180
7.2. The historical-genetic features of the functional relief analysis	183
7.3. The concept of the rational use of nature and the relief	186
8. The methods of the engineering-geomorphological analysis and the geomorphological mapping	188
8.1. General	188
8.2. Preliminary analysis of the construction project and geomorphological studies projecting	189
8.3. Field studies	190
8.4. The final indoor stage of the investigations	192
8.5. The peculiarities of the engineering-geomorphological mapping	193
9. The main principles of the engineering-geomorphological regionalization	195
<i>Literature</i>	201

Учебное издание

Симонов Юрий Гаврилович
Кружалин Виктор Иванович

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Зав. редакцией *И. И. Щехура*
 Редакторы *Е. Е. Узлова, Л. М. Батыгина*
 Художественный редактор *А. Л. Прокошев*
 Технический редактор *Н. И. Смирнова*
 Корректоры *И. А. Мушников, Н. В. Иванова*
 ИБ № 6306

Сдано в набор 03.11.92. Подписано в печать 19.02.93.
 Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 2.
 Гарнитура литературная. Высокая печать.
 Усл. печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 14,12.
 Тираж 1050 экз. Заказ № 387. Изд. № 2449.

Ордена «Знак Почета» издательство Московского университета.
 103009, Москва, ул. Герцена, 5/7.

Московская типография № 8 РППО «Росбланкиздат».
 107078, Москва, Каланчевский туп., д 3/5.